



*Utilización por vertebrados terrestres de los pasos
de fauna y otras estructuras transversales de dos
autovías del Centro-Noroeste peninsular*



Tesis doctoral
Cristina Mata Estacio
Madrid, 2007

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS

Departamento de Ecología



**UTILIZACIÓN POR VERTEBRADOS TERRESTRES DE LOS PASOS DE
FAUNA Y OTRAS ESTRUCTURAS TRANSVERSALES DE DOS AUTOVÍAS
DEL CENTRO-NOROESTE PENINSULAR**

Memoria presentada para optar al Grado de Doctor por

Cristina Mata Estacio

Bajo la dirección de los Doctores:

Juan E. Malo Arrázola
Profesor Titular
Departamento de Ecología
Universidad Autónoma de Madrid

Francisco Suárez Cardona
Profesor Titular
Departamento de Ecología
Universidad Autónoma de Madrid

Madrid, 2007

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS

Departamento de Ecología



**UTILIZACIÓN POR VERTEBRADOS TERRESTRES DE
LOS PASOS DE FAUNA Y OTRAS ESTRUCTURAS
TRANSVERSALES DE DOS AUTOVÍAS
DEL CENTRO-NOROESTE PENINSULAR**

Cristina Mata Estacio

Madrid, 2007

*A la memoria de Josefa Parra,
abuela, madrina y sobre todo,
una maravillosa maestra*

A Juan

“Ninguna barrera puede unir el desencanto”

Borja Esteban García

AGRADECIMIENTOS

Ahora que ando reorganizando mi mente y sobre todo, mis nervios para poner un punto y seguido a esta etapa de mi vida, me paro a reflexionar en todo este trabajo y el tiempo que hace desde que lo inicié. Al recordar cómo comenzó esta andadura, no tengo más que palabras de agradecimiento para todas las personas que en un momento u otro me han ayudado, en ocasiones sólo con estar ahí, apoyándome y en otras muchas, la mayoría, echando una mano para que este trabajo saliera adelante.

Hace ya casi siete años que, de la mano de Quico, entré a formar parte del grupo de Ecología Terrestre del Departamento de Ecología de la Universidad Autónoma de Madrid y desde entonces no he dejado de sentirme afortunada por ello. Quisiera dejar constancia de mi más profundo agradecimiento a mis directores, Quico y Juan, que han sabido guiar mis pasos con una dedicación y una paciencia admirables hasta el último momento. Y por supuesto, a Jesús Herranz y a Israel Hervás, porque sin ellos, esta tesis no hubiera sido posible.

A mis padres y hermanas, que me han apoyado en todo momento, compartiendo los ratos buenos y también los momentos de flaqueza, animándome siempre a seguir y sobre todo a disfrutar con mi trabajo. A ellos les debo todo.

A los amigos y a la familia en el sentido más amplio de la palabra, porque todos y cada uno de ellos, siempre se han interesado por mi trabajo y han tenido palabras de aliento para mí.

Este trabajo ha sido posible gracias a una beca predoctoral para Formación de Personal Investigador de la Comunidad de Madrid y a sucesivos convenios de colaboración entre el Departamento de Ecología de la Universidad Autónoma de Madrid y el Centro de Estudios de Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), financiados por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente. Mi agradecimiento a Juan Manuel Varela y Javier Cachón que desde el CEDEX impulsaron este proyecto y a Manuel García Sánchez Colomer, que ha heredado su entusiasmo para que siguiera adelante.

A todos, gracias.

Índice

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes	5
1.3. Objetivos	6
1.4. Estructura de la tesis	7
2. MÉTODOS GENERALES.....	9
2.1. Introducción	9
2.2. Áreas de estudio	9
2.2.1. Autovía de las Rías Bajas (A-52).....	10
2.2.2. Autovía del Camino de Santiago (A-231)	14
2.3. Caracterización de las estructuras	15
2.3.1. Obras de drenaje	17
2.3.1.1. Drenajes circulares	17
2.3.1.2. Drenajes adecuados	17
2.3.2. Pasos mixtos.....	18
2.3.2.1. Pasos superiores mixtos	18
2.3.2.2. Pasos inferiores mixtos	18
2.3.3. Pasos específicos	19
2.3.3.1. Pasos superiores específicos	19
2.3.3.2. Pasos inferiores específicos	20
2.3.4. Viaductos	21
2.3.5. Selección de las estructuras objeto de seguimiento.....	22
2.4. Métodos de control	23
2.4.1. Registro de huellas	23
2.4.1.1. Identificación de las huellas	25
2.4.2. Sistema fotográfico	26
2.4.2.1. Sensores de movimiento.....	27
2.4.2.2. Cámaras digitales	29
2.4.2.3. Controlador de la cámara.....	29

2.4.2.4. Instalación del sistema fotográfico en campo	30
2.5. Tratamiento de datos	31
3. COMPARACIÓN DE DOS MÉTODOS DE CONTROL PARA EL SEGUIMIENTO DE LA UTILIZACIÓN DE LOS PASOS DE FAUNA POR LOS VERTEBRADOS	35
3.1. Introducción	35
3.2. Material y métodos	36
3.2.1. Datos básicos	36
3.2.2. Tratamiento de datos.....	37
3.3. Resultados	39
3.3.1. Registro de huellas vs. sistema fotográfico	39
3.3.1.1. Primer modelo vs. Segundo modelo.....	53
3.3.1.2. Segundo modelo vs. Tercer modelo.....	54
3.4. Discusión	55
3.5. Conclusiones	61
4. EVALUACIÓN DE LA INTENSIDAD DEL CONTROL	63
4.1. Introducción	63
4.2. Material y métodos	64
4.2.1. Datos básicos	64
4.2.2. Tratamiento de datos.....	65
4.3. Resultados	67
4.3.1. Datos básicos del seguimiento de la autovía A-52.....	67
4.3.2. Datos básicos del seguimiento de la autovía A-231.....	68
4.3.3. Selección de la función de acumulación de especies.....	69
4.3.4. Ajuste del modelo general al periodo de control	71
4.3.5. Ajuste del modelo general al tamaño muestral	73
4.4. Discusión	74
4.4.1. Implicaciones para esta tesis doctoral.....	76
4.4.2. Implicaciones de carácter aplicado	77
4.5. Conclusiones	78

5. UTILIZACIÓN DE LOS PASOS DE FAUNA Y DEMÁS	
ESTRUCTURAS TRANSVERSALES DE LA AUTOVÍA A-52	
POR LOS VERTEBRADOS TERRESTRES.....	79
5.1. Introducción	79
5.2. Material y métodos	79
5.2.1. Área de estudio.....	79
5.2.2. Selección de las estructuras	
objeto de seguimiento	80
5.2.3. Sistemas de control y	
periodo de seguimiento.....	81
5.2.4. Tratamiento de datos	81
5.3. Resultados.....	82
5.3.1. Especies que hacen uso	
de las estructuras de paso	82
5.3.2. Estructuras seleccionadas	84
5.4. Discusión	86
5.5. Conclusiones	88
6. PATRONES DE SELECCIÓN EN LA UTILIZACIÓN DE LOS PASOS.....	89
6.1. Introducción	89
6.2. Material y métodos	90
6.2.1. Área de estudio.....	90
6.2.2. Selección de las estructuras	
objeto de seguimiento	90
6.2.3. Sistemas de control y	
periodo de seguimiento.....	91
6.2.4. Tratamiento de datos	91
6.3. Resultados.....	93
6.3.1. Especies que hacen uso	
de las estructuras de paso	94
6.3.2. Estructuras seleccionadas: patrones generales	
detectados mediante el control de huella.....	96
6.3.3. Estructuras seleccionadas: patrones generales	
detectados mediante el control fotográfico	99
6.3.4. Estructuras seleccionadas: patrones interespecíficos	102
6.3.4.1. Anuros, lacértidos y ofidios	103
6.3.4.2. Micromamíferos y ratas.....	104
6.3.4.3. Lirón, ardilla y erizo	105

6.3.4.4. Pequeños mustélidos y tejón.....	105
6.3.4.5. Gineta y gatos.....	106
6.3.4.6. Zorro y cánidos.....	107
6.3.4.7. Lagomorfos.....	108
6.3.4.8. Ciervo	109
6.4. Discusión.....	110
6.5. Conclusiones.....	113
7. VARIABILIDAD ESTACIONAL EN LOS PATRONES DE UTILIZACIÓN DE LOS PASOS POR VERTEBRADOS.....	115
7.1. Introducción.....	115
7.2. Material y métodos	115
7.2.1. Área de estudio	115
7.2.2. Selección de las estructuras objeto de seguimiento.....	116
7.2.3. Sistemas de control y periodo de seguimiento	117
7.2.4. Tratamiento de datos.....	118
7.3. Resultados	119
7.3.1. Especies que hacen uso de las estructuras de paso.....	120
7.3.2. Estructuras seleccionadas: patrones generales y variación estacional	120
7.3.3. Estructuras seleccionadas: patrones interespecíficos y variación estacional	124
7.4. Discusión.....	125
7.5. Conclusiones.....	127
8. ¿SE MANTIENEN LOS PATRONES DE SELECCIÓN EN LA UTILIZACIÓN DE PASOS DE FAUNA POR VETEBRADOS? VALIDACIÓN CON DATOS DE LA AUTOVÍA A-231	129
8.1. Introducción.....	129
8.2. Material y métodos	130
8.2.1. Áreas de estudio.....	130
8.2.2. Selección de las estructuras objeto de seguimiento.....	131
8.2.3. Sistemas de control y periodo de seguimiento	131
8.2.4. Tratamiento de datos.....	132

8.3. Resultados	134
8.4. Discusión	137
8.5. Conclusiones	140
9. ANÁLISIS GENERAL Y CONCLUSIONES FINALES	141
9.1. Introducción	141
9.2. Material y métodos	141
9.2.1. Datos básicos	141
9.2.2. Tratamiento de datos	142
9.3. Resultados	144
9.3.1. Especies detectadas utilizando las estructuras de paso	144
9.3.2. Selección de las estructuras por los vertebrados: patrones generales	146
9.3.3. Selección de las estructuras por los vertebrados: patrones interespecíficos	151
9.4. Discusión general	152
9.5. Conclusiones finales	164
10. BIBLIOGRAFÍA	167

ANEXOS

- Anexo I. Listado de la fauna potencial del entorno de la autovía A-231
- Anexo II. Caracterización de las estructuras controladas en la autovía A-52 y en la autovía A-231
- Anexo III. Estadísticos obtenidos para cada uno de los modelos ajustados correspondientes a funciones de acumulación de especies
- Anexo IV. Datos básicos de la primera campaña de control de 2001 en la autovía A-52
- Anexo V. Datos básicos de la campaña de control de 2002 en la autovía A-52
- Anexo VI. Datos básicos de la campaña de control de 2003 en la autovía A-52
- Anexo VII. Datos básicos de las dos campañas de control 2003 y 2004 en la autovía A-231
- Anexo VIII. Datos básicos de la segunda campaña de control de 2001 en la autovía A-52
- Anexo IX. Datos de la actividad humana registrada en las campañas de control en la autovía A-52

Capítulo 1.

Introducción

1.1. INTRODUCCIÓN

La constante destrucción y alteración del hábitat es, sin duda, uno de los principales agentes causantes de la actual crisis de pérdida de biodiversidad, una crisis que, impulsada y magnificada por un imparable crecimiento poblacional, no sólo amenaza la existencia de millones de especies, sino que pone en peligro la funcionalidad de los ecosistemas como base para el mantenimiento de la vida (Odum, 1989; Meffe y Carroll, 1997; Primack, 1998; Pullin, 2002). La forma más visible de esta alteración es la ocupación directa de hábitats con su consiguiente transformación, significando en última instancia la pérdida de los mismos. Sin duda, el patrón más recurrente fruto de la eliminación de hábitats es su fragmentación, que constituye además una de las mayores amenazas para la conservación de la biodiversidad (Wilcox y Murphy, 1985).

Originariamente, el concepto de fragmentación de hábitats fue introducido en la teoría de la *Biogeografía de Islas* de MacArthur y Wilson (1967) a través de una analogía metafórica entre los fragmentos y las islas. Esta teoría proporcionó en su día el marco conceptual bajo el que se desarrollaron numerosos trabajos de investigación sobre fragmentación. Posteriormente, surgió una nueva perspectiva a la luz de la teoría de las *Metapoblaciones* (Levins, 1969), según la cual las especies pueden persistir como un número de poblaciones conectadas con una dispersión limitada entre teselas de un mismo hábitat, siendo la probabilidad de extinción equilibrada por la probabilidad de colonización en el complejo de teselas (Hanski, 1999). No obstante, dado que el impacto de la fragmentación de hábitats no sólo es distinto para cada especie, sino que además varía entre los distintos componentes de un ecosistema (Robinson, *et al.*, 1992; Jaarsma y Willem, 2002), actualmente se trata de enfocar el estudio de la fragmentación de hábitats desde el punto de vista de la *ecología del paisaje*, a fin de lograr una perspectiva integradora (Haila, 2002). Independientemente de ello, dada la complejidad de los sistemas ecológicos, y las innumerables variables que en ellos intervienen, se encuentra una gran dificultad y múltiples limitaciones para realizar aproximación experimental sobre el tema, lo que desemboca en que los estudios realizados sean básicamente observacionales (Bissonette y Storch, 2002).

Por todo ello, la fragmentación de hábitats es, y posiblemente será, uno de los temas más abordados y discutidos en el siglo XXI dentro de la ciencia de la Biología de la Conservación. Hasta la actualidad, existen más de 3.300 publicaciones científicas en las que, desde diferentes perspectivas, se trata la fragmentación de hábitats (Base de datos ISI, Febrero-2007). Este es, sin duda, un tema aún emergente cuyo interés ha crecido de forma notable en las últimas décadas, y muy especialmente en los últimos seis años, durante los que han visto la luz aproximadamente el 65% de los trabajos publicados.

La fragmentación de hábitats es un proceso a través del cual se produce, por un lado, la reducción de la cantidad total del hábitat original, y por otro, la división de éste en dos o más fragmentos aislados y de menor tamaño (Bascompté y Solé, 1996). A una escala de paisaje este proceso implica una transformación del hábitat, con cambios en la composición, estructura, función del paisaje y de las especies presentes (Haila, 2002; McGarigal y Cushman, 2002).

Asociados a esta parcelación, se han caracterizado una serie de procesos relacionados con el incremento de la relación entre el perímetro del fragmento y su área, conocido como *efecto borde* (Santos y Tellería, 1998). Bajo este término se engloban cambios abióticos, esencialmente microclimáticos, y de tipo biológico, tanto directos, relacionados con la abundancia y distribución de las especies, como indirectos, que implican cambios en la interacción de la especies (Santos y Tellería, 1992; Murcia, 1995). Otros cambios derivados de este proceso son los relacionados con el tamaño de los fragmentos de paisaje. Robinson *et al.* (1992) señalan que el tamaño de los fragmentos condiciona en gran medida la dinámica de las poblaciones y los patrones de distribución de los vertebrados. Así mismo, otros autores relacionan la disminución de la riqueza específica con la reducción de la superficie de las teselas, lo que favorece la aparición de especies introducidas y de aquellas autóctonas más comunes (Bennett, 1990; Andrén, 1994; Gilbert *et al.*, 1998). Pero quizás, tal y como señala Fahrig (2003) en su revisión, estos efectos pudieran ser consecuencia directa de la pérdida de hábitat y no tanto de la fragmentación *per se*.

Una de las consecuencias más graves que conlleva este proceso es la pérdida local o regional de poblaciones de especies. Éstas, al quedar subdivididas en poblaciones de menor tamaño, están sometidas a un mayor riesgo de extinción, puesto que resultan más sensibles a los fenómenos estocásticos, ya sean de tipo demográfico, genético o medioambiental (Shaffer, 1981; Reh, 1989; Andrews, 1990; Diffendorfer *et al.*, 1995; van Apeldoorn, 1997; Lindenmayer *et al.*, 1999). Además, si se disminuyen las probabilidades de recolonización de las teselas en las que se subdivide el hábitat, los equilibrios colonización-extinción característicos de las metapoblaciones cambian hacia situaciones de menor número de teselas ocupadas.

La construcción de infraestructuras viarias constituye una de las actividades humanas que más han contribuido y, lo sigue haciendo, a la creciente pérdida y fragmentación de hábitats, especialmente en el caso de países desarrollados (Hunter, 1996; Forman *et al.*, 2003; Rosell *et al.*, 2003). En relación a las poblaciones de vertebrados terrestres, a las que se circunscribe el presente estudio, se pueden establecer cuatro grandes grupos de

afecciones relacionadas con la construcción y posterior explotación de estas infraestructuras.

En primer lugar, el efecto más inmediato derivado de la construcción de cualquier infraestructura viaria es la pérdida de hábitats, lo que lleva implícito un inevitable descenso de las poblaciones ligadas a estos enclaves (Fahring, 1997; Fahring, 2002; Forman *et al.*, 1997). Algunas especies son más vulnerables a la pérdida de hábitat, especialmente aquéllas de gran tamaño, con amplias áreas de campeo y bajas tasas de reproducción, como algunos grandes carnívoros (Crooks, 2002).

En segundo lugar, y relacionadas con la fase de explotación de la infraestructura, se reconocen una serie de perturbaciones ligadas a la intensidad del tráfico, tales como el ruido, las emisiones de gases, la contaminación lumínica, el aumento de los niveles de contaminantes en el suelo, y un largo etcétera. En definitiva, debido al incremento de diversos agentes contaminantes la calidad de los hábitats se reduce notoriamente (Huijser *et al.*, 1999).

El tercer grupo de afecciones, también vinculadas a la fase de explotación, deriva de un inevitable incremento de la mortalidad por atropello de la fauna silvestre (Oxley, 1974; Case 1978). Las carreteras o ferrocarriles pueden actuar como un sumidero para las poblaciones próximas a la infraestructura (Pulliman, 1988), pudiendo llegar a constituir una seria amenaza para especies de poblaciones reducidas y con bajas tasas de reproducción (Ferreras *et al.*, 1992; Forman y Alexander, 1998; Alexander y Waters, 2000).

El cuarto y último grupo engloba todos aquellos efectos relacionados con la fragmentación de los hábitats intersectados por la vía, incluyendo aquellos impactos generados por la subdivisión de las poblaciones naturales y la pérdida de conectividad del paisaje.

Las infraestructuras viarias, especialmente las vías de gran capacidad cuyo trazado está vallado, suponen un obstáculo para las poblaciones de animales, provocando un cambio en la conectividad del hábitat que compromete los movimientos diarios y estacionales e influye en la distribución espacial de la fauna (Ballon, 1985). Este hecho conocido como *efecto barrera*, actúa limitando considerablemente la capacidad de movimiento y dispersión de las poblaciones de vertebrados terrestres (Mader, 1984). Además de la barrera física que constituye la propia obra, en ocasiones aparece la modificación del comportamiento de algunas especies, constituyendo una barrera etológica para éstas (Garland y Bradley, 1984; Brody y Pelton, 1989; Nellemann *et al.*, 2003; Jaeger *et al.*, 2005).

En líneas generales, el mantenimiento de toda estructura metapoblacional, y por lo tanto la permanencia de la población en sí, depende de la permeabilidad del espacio entre las teselas que acogen a las distintas subpoblaciones, y por lo tanto, de la facilidad con la que los individuos puedan moverse entre fragmentos (Mansergh y Scotts, 1989; Lidicker, 1999; Haddad *et al.*, 2003). Por todo ello, uno de los temas prioritarios para la Biología de la Conservación es la identificación y el estudio de los corredores, elementos que permiten reducir, en la medida de lo posible, el efecto de la fragmentación, restaurando la

conectividad entre hábitats y poblaciones, y permitiendo mantener la riqueza de especies (Saunders *et al.*, 1991; Gilbert *et al.*, 1998; Haddad *et al.*, 2000). No obstante, se trata de un tema muy controvertido, constantemente cuestionado y sometido a debate (Simberloff y Cox, 1987; Noss, 1987; Harris y Scheck, 1991; Simberloff *et al.*, 1992; Hess, 1994; ver revisión en Anderson y Jenkins, 2006).

Una vez identificados los problemas derivados de las infraestructuras lineales, y asumida la necesidad de restablecer la conectividad del paisaje, han de buscarse soluciones que permitan minimizar los efectos negativos de estas obras. Es en este contexto en el que se diseñan e implementan toda una serie de medidas correctoras y compensatorias dirigidas a preservar la integridad del paisaje y mantener los valores naturales de los ecosistemas (Van Bohemen, 1998). Entre dichas medidas correctoras que se emprenden destaca la construcción de pasos específicos para la fauna, estructuras transversales a la vía destinadas a mejorar la permeabilidad de la infraestructura viaria, facilitando la conectividad de las áreas afectadas por el trazado y los movimientos de los vertebrados entre ambos lados (Saunders y Hobbs, 1991; Clergeau, 1993; Velasco *et al.*, 1995; Keller y Pfister, 1997; Carsignol, 1999). La principal función de estos pasos es la de proporcionar un lugar seguro por el que la fauna cruce la infraestructura en cuestión, facilitando así los movimientos naturales y reduciendo la mortalidad por atropello (Forman *et al.*, 2003).

Estados Unidos fue pionero en la incorporación de estas medidas. En los años 50 del pasado siglo ante el preocupante incremento en el número de atropellos de oso negro (*Ursus americanus ssp. floridanus*), en el estado de Florida se instalaron los primeros pasos específicos para la fauna en una carretera (Evink, 1996). Una década más tarde se establecieron los primeros pasos en Europa, concretamente en Francia (Ballon, 1985). Pero no fue hasta finales de los años 90 cuando se hace frecuente la incorporación en muchos Estudios y Declaraciones de Impacto Ambiental el establecimiento de pasos de fauna o la adecuación del diseño de drenajes para optimizar las posibilidades de paso como medida correctora (Beier y Loe, 1992; De Santo y Smith, 1993). En España, los primeros pasos documentados se construyeron en 1994, en la carretera onubense A-483 (Matalascañas-El Rocío), con la intención de reducir el elevado número de atropellos de lince ibérico (Robles y Pereira, 2001).

En la actualidad es una práctica habitual y ampliamente extendida en países desarrollados, cuya efectividad ha despertado un notable interés por un doble motivo: esclarecer la relación coste-beneficio de estas medidas y, sobre todo, determinar el grado de sostenibilidad de las redes de transporte, de cara a la conservación de la biodiversidad. Prueba de esta creciente preocupación, son iniciativas como la adoptada en los Estados Unidos con la legislación TEA-21 (*Transportation Equity Act for the 21st Century*) o el programa COST 341 de la Unión Europea, destinadas a evaluar los Planes de Programas de Transportes y regular, en la medida de lo posible, la incorporación de medidas correctoras como los pasos de fauna (Forman *et al.*, 2003).

1.2. ANTECEDENTES

Desde la primera publicación acerca de la utilización de un paso de fauna por ciervos mulos (*Odocoileus hemionus*) en los Estados Unidos (Reed *et al.*, 1975), se han realizado numerosos estudios en torno al tema. Desafortunadamente, buena parte de la información resultante de estos trabajos se encuentra dispersa en publicaciones y documentos muy diversos y de escasa difusión.

Producto de una exhaustiva revisión bibliográfica, se han reunido 231 referencias correspondientes a estudios relacionados con los pasos de fauna y/u otras estructuras transversales y su uso por vertebrados terrestres. Cabe destacar que del total reunido, aproximadamente el 60% de las publicaciones se han realizado en los últimos seis años, prueba de un interés creciente en el tema. Sin embargo, sólo el 16,5% de estas referencias corresponden a trabajos que pueden considerarse de fácil acceso, publicados en libros o revistas científicas incluidas en el JCR. El resto son informes, resúmenes de congresos, o documentos de difusión limitada.

En el momento en el que se inició esta investigación, a finales del año 2000, la literatura existente en torno a este tema mostraba un enfoque fundamentalmente sesgado hacia los grandes mamíferos, y muy especialmente hacia los ungulados. De un total de 96 trabajos revisados (15 publicaciones en revistas científicas y 81 en otros formatos), aproximadamente un 30% de los mismos examinaban la utilización de los pasos por estas especies. Un interés por otro lado comprensible, puesto que son especies con extensas áreas de campeo, que se ven seriamente afectadas por las infraestructuras viarias y que, además, son frecuente causa de accidentes de tráfico (Allen y McCullough, 1976; Bruinderink y Hazebroek, 1996; Forman y Alexander, 1998). Aunque menos frecuentes, también se habían realizado estudios dirigidos a otros grupos, tales como anfibios, reptiles o micromamíferos, siendo escasos los estudios de carácter más genérico que consideraran la comunidad de vertebrados terrestres en su conjunto (un total de 9 estudios de la muestra considerada).

En su mayoría, estos estudios coinciden en señalar la importancia de las características estructurales y en definitiva, del diseño del paso de fauna a la hora de favorecer su utilización por las distintas especies (Reed, 1981; Ballon, 1984; Clevenger y Waltho, 2000; Haas, 2000). En términos generales, se recomiendan diseños en los que prime la amplitud del paso, especialmente para reducir la reticencia de los ungulados (Olbrich, 1984; Mathiasen y Madsen, 2000). La importancia de la cobertura vegetal en el entorno de los pasos también ha sido subrayada en múltiples trabajos, por su papel canalizador de las especies hacia éstos (Hunt *et al.*, 1987; Bekker y Canters, 1997; Rodríguez *et al.*, 1997). En algunos casos se ha identificado y caracterizado la existencia de un periodo de adaptación a las nuevas estructuras que varía en función de la especie (Ward, 1982; Land y Lotz, 1996).

Otro aspecto destacado por casi todos los autores es la ubicación de la estructura, tanto más óptima si para su elección son consideradas las rutas de desplazamiento habitual de la fauna (Singer y Doherty, 1985; Madsen, 1996; Rodríguez *et al.*, 1996).

Durante el desarrollo de esta investigación, nuevos trabajos han ido contribuyendo a mejorar el conocimiento relativo a la utilización de los pasos de fauna, incorporando nuevos casos y ámbitos geográficos (p.e. Holzgang *et al.*, 2001; Van Wieren y Worm, 2001; Taylor y Goldingay, 2003; Asensão y Mira, 2007). Además, se han introducido nuevas herramientas metodológicas (Clevenger *et al.*, 2002) y se han realizado espléndidas revisiones (p.e. Forman *et al.*, 2003) y guías prácticas, destinadas a mejorar el diseño de estas medidas (luell *et al.*, 2003). Sin embargo, aún resta un largo camino por recorrer para determinar la efectividad real de estas medidas, un camino por el que poco a poco se avanza, con pequeñas contribuciones como la que pretende ser este trabajo.

1.3. OBJETIVOS

El objetivo general y que da origen al planteamiento de esta tesis es, a grandes rasgos, conocer el grado de permeabilidad que ofrecen a los desplazamientos de los vertebrados terrestres las infraestructuras lineales. La búsqueda de este ambicioso objetivo se ha concretado en una investigación puramente observacional basada en el método inductivo, y se llevada a la práctica a través del control de las diferentes estructuras transversales presentes en dos autovías seleccionadas en el Centro y Noroeste español (A-231 y A-52, respectivamente).

En este estudio se plantea como hipótesis inicial la posible permeabilidad de las autovías para los vertebrados terrestres, asumiendo que los pasos y demás estructuras transversales a estas vías son utilizados por la fauna para cruzar de un lado a otro. En torno a esta hipótesis se desarrolla el objetivo central de la tesis, comprobar si estas medidas correctoras son, tal y como cabría esperar, funcionales.

El primer objetivo de este estudio es por tanto determinar qué grupos de vertebrados terrestres, excluida la avifauna, hacen uso de los pasos presentes en las autovías. La mayoría de estos pasos son estructuras transversales destinadas a la restitución de pistas forestales y carreteras locales, así como al drenaje de la calzada. No obstante, se ha demostrado que también son frecuentemente utilizadas por los animales (Hunt *et al.*, 1987; Yanes *et al.*, 1995; Rodríguez *et al.*, 1996), de ahí que no sólo se sometan a seguimiento las estructuras específicamente diseñadas para la fauna, sino todas las estructuras transversales a la calzada.

En segundo lugar, basándose en estudios previos que han puesto de manifiesto la importancia de ciertas variables en la utilización por parte de la fauna de estos pasos (Rodríguez *et al.*, 1997; Dufek y Adamec, 1999; Rosell y Velasco, 1999 y Veenbass y Brandjes, 1999), se analiza la influencia de una serie de características relacionadas con el diseño de los pasos y la perturbación humana en la frecuencia de utilización de las diferentes especies detectadas.

En tercer lugar, se analizan las posibles variaciones estacionales en la utilización de los pasos por parte de las especies. Dicha estacionalidad determinaría la valía de estudios de duración inferior a un año, como los que pueden asumirse en el seguimiento rutinario

de infraestructuras lineales y como los desarrollados en la mayoría de los estudios científicos.

El cuarto de los objetivos es el de examinar la generalidad de los resultados obtenidos, valorando así mismo, las implicaciones de ésta. Ha de tenerse en cuenta que todo trabajo como el presente se desarrolla sobre un territorio limitado, pero interesa conocer cuál puede ser su generalidad a la hora de aplicar sus conclusiones a nuevos proyectos puestos en marcha en áreas relativamente distantes del caso estudiado.

Finalmente, se plantean dos objetivos metodológicos. El primero de ellos es el de evaluar la idoneidad de los métodos de control empleados en el desarrollo de la propia tesis. El segundo, determinar la duración óptima del periodo de control de los pasos de fauna. Ambos objetivos tienen, además, una faceta de carácter aplicado, estando muy dirigidos al establecimiento de protocolos estandarizados de seguimiento de estas medidas correctoras en los proyectos de infraestructuras viarias.

1.4. ESTRUCTURA DE LA TESIS

En función de los objetivos previamente expuestos, el texto que constituye la memoria de tesis se ha organizado en un total de 10 capítulos, acompañados de 8 anexos (Figura 1.1).

La descripción de las dos áreas de estudio en las que se ha desarrollado la investigación y la presentación de los métodos de control, así como de los métodos de análisis numérico comunes a varios capítulos, se incluyen en el capítulo 2.

Posteriormente, se presentan dos capítulos de resultados metodológicos, que pese a tratarse en ambos casos de análisis *a posteriori* de los resultados obtenidos, se ha considerado oportuno situar al comienzo de la memoria para facilitar la interpretación de la solidez y generalidad de los resultados obtenidos a lo largo de la misma. En el capítulo 3 se analiza la validez de los métodos de control empleados, comparando el registro tradicional de huellas con los sistemas automáticos fotográficos. Estos resultados se presentaron en el *Primer Congreso Europeo de Biología de la Conservación* (Eger, 2006). En el capítulo 4 se analiza la representatividad del periodo de control de cada estructura establecido al comienzo de la investigación. Parte de los resultados se expusieron en un congreso internacional de Ecología y Transporte y fueron posteriormente publicados en sus actas (Malo *et al.*, 2006).

Los siguientes cuatro capítulos constituyen el núcleo central de la tesis. El primero de ellos, el capítulo 5, sirve como primera aproximación a la utilización de las estructuras transversales presentes en la autovía A-52 por parte de las distintas especies de vertebrados terrestres. Estos primeros análisis dieron lugar al trabajo presentado para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados y actualmente están pendientes de publicación (Mata *et al.*, *en prensa*). Seguidamente, en el capítulo 6 se presentan los resultados de la campaña de control más intensiva y que dio origen a la primera publicación de la presente investigación (Mata *et al.*, 2005). En él se describen los patrones de selección mostrados por algunas especies en la utilización de los distintos

tipos de pasos y se analizan las características que determinan dicha selección. En el capítulo 7 se analizan las diferencias estacionales en la utilización de los pasos, comparando para ello los resultados procedentes del seguimiento de una amplia muestra de pasos controlados en dos estaciones diferentes, verano e invierno. En el capítulo 8, cuarto y último de este núcleo central, se analiza la posible generalidad de los resultados obtenidos en la autovía A-52, presentados en los anteriores tres capítulos. Se elabora para ello un modelo predictivo que será validado con los datos procedentes de la autovía A-231. Los resultados mostrados en este capítulo se presentaron en el *XX Congreso Mundial de Biología de la Conservación* (California, 2006).

Para finalizar, se incluyen en el capítulo 9 la síntesis y conclusiones generales del estudio. Para este trabajo se ha realizado un nuevo análisis en el que se consideran todas las campañas de control realizadas en la autovía A-52, y se realiza una discusión general incorporando los resultados obtenidos de la autovía A-231. Producto de este análisis conjunto se publicó un artículo en una revista de ámbito nacional (Mata *et al.*, 2006)

Por último, señalar que toda la bibliografía empleada en la elaboración de esta tesis se incluye en el Capítulo 10. Así mismo, la información básica que ha dado origen a cada uno de estos capítulos se muestra en los Anexos que figuran al final de la memoria.

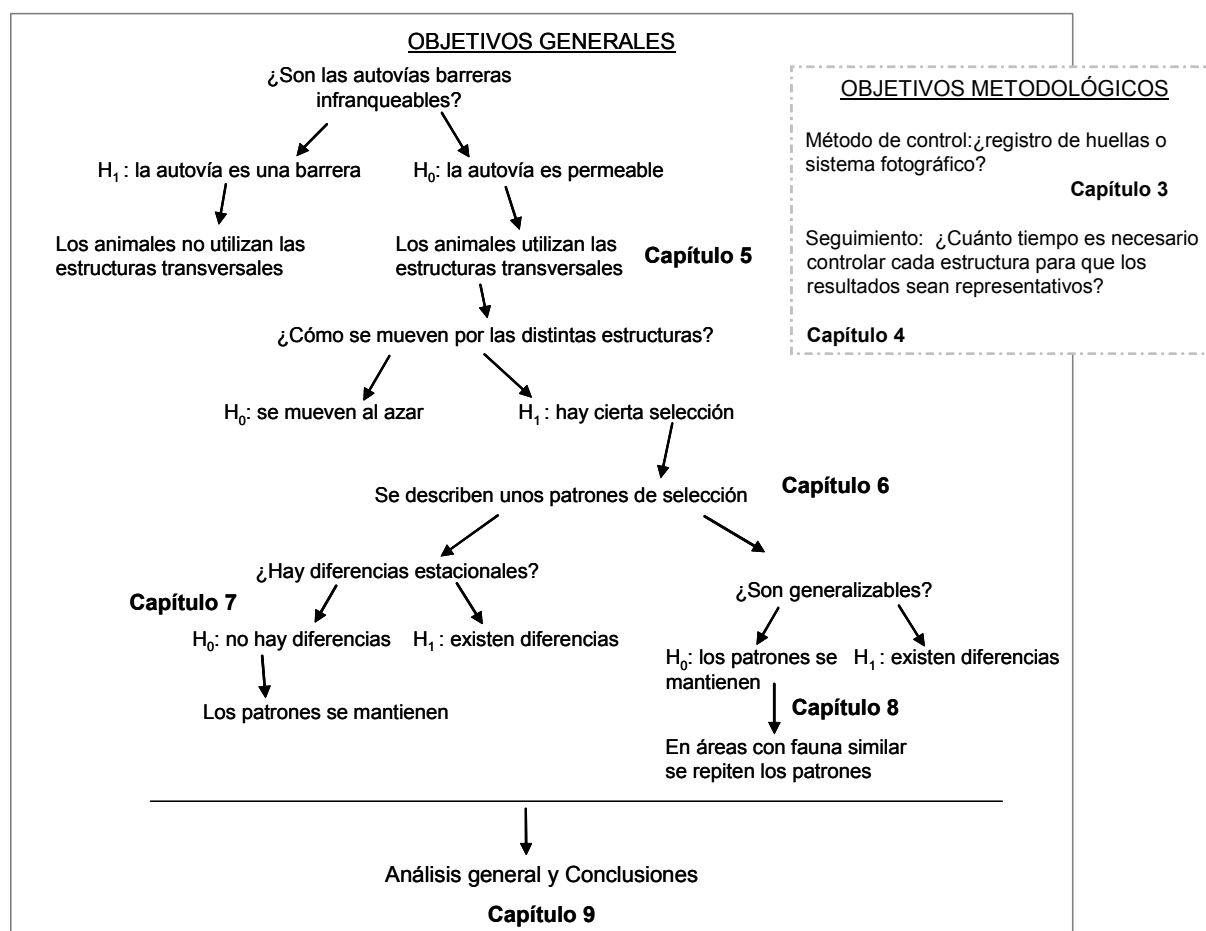


Figura 1.1. Estructura general de la tesis

Capítulo 2.

Métodos generales

2.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan aspectos metodológicos comunes a varios capítulos a fin de evitar redundancias. Entre estos aspectos se incluyen en primer lugar, los enclaves por los que discurren las dos autovías en las que se han llevado a cabo los trabajos experimentales y fundamentalmente observacionales, que han dado origen a la presente tesis. En segundo lugar, se caracterizan los distintos tipos de estructuras transversales presentes en las dos vías, destacando aquéllas que finalmente han sido sometidas a seguimiento. A continuación, se describen detalladamente los métodos de control empleados en dicho seguimiento. Para finalizar, se exponen los tratamientos comunes empleados en el análisis de los datos.

2.2. ÁREAS DE ESTUDIO

Una vez planteados los objetivos generales de la investigación, la elección de las zonas de estudio quedaba restringida a aquellas infraestructuras de transporte cuyo trazado estuviera mayoritariamente vallado, es decir, vías de gran capacidad y que a su vez contara con pasos específicos para la fauna. Estos condicionantes permitieron descartar en una primera fase todos aquellos proyectos que hubieran sido aprobados con anterioridad a la trasposición de la Directiva Europea de Evaluación de Impacto Ambiental (85/337/CEE) mediante el Real Decreto Legislativo 1302/1986 y que por lo tanto, carecen de medidas correctoras que minimicen sus afecciones a la fauna.

En el momento en el que se seleccionaron las dos autovías objeto de estudio, a finales del año 2000, el número de proyectos que cumplían los requisitos definidos era muy bajo. La decisión final se realizó teniendo en cuenta la riqueza faunística del entorno por el que discurrían cada una de las posibles infraestructuras, se seleccionaron dos autovías del Noroeste y Centro peninsular (ver figura 2.1.): la autovía de las Rías Bajas (A-52) y la autovía del Camino de Santiago (A-231). Cabe señalar que esta última cuando fue seleccionada se hallaba aún en fase de construcción, si bien muy avanzada, por lo que contaba con un interés añadido: una vez la infraestructura estuviera completamente vallada y fuera abierta al tráfico, se presentaba la oportunidad de poder analizar la

utilización inicial de los distintos tipos de estructuras por parte de los diferentes grupos de vertebrados.

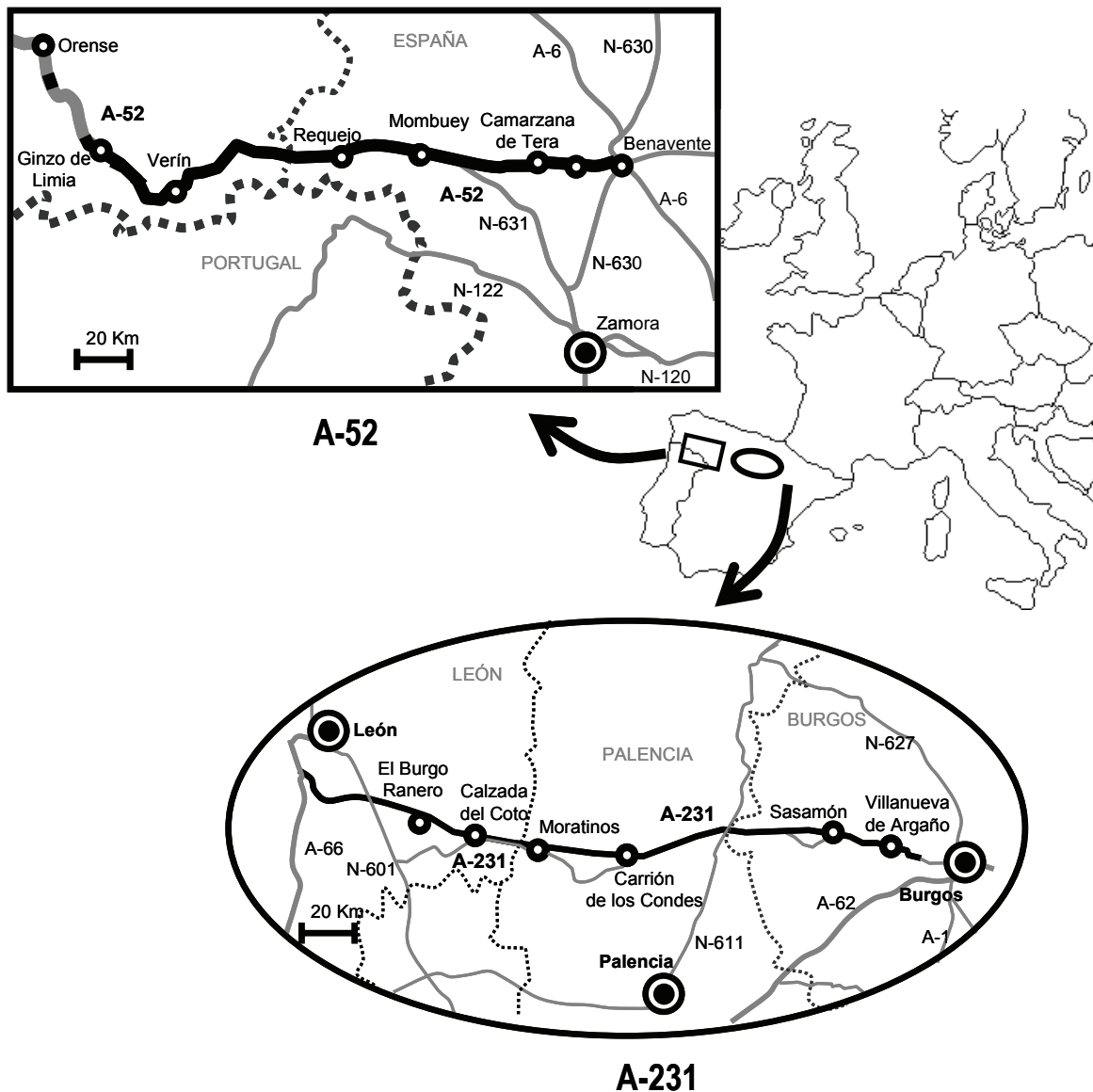


Figura 2.1. Localización de las dos autovías objeto de estudio: autovía de las Rías Bajas (A-52) y autovía del Camino de Santiago (A-231).

2.2.1. Autovía de las Rías Bajas (A-52)

El trazado de la primera de las autovías seleccionadas discurre entre las localidades de Benavente (Zamora) y Vigo (Pontevedra). La longitud total de la vía es de 308,5 kilómetros. De acuerdo con la ley 25/88 de carreteras que define este tipo de vías, presenta calzadas separadas para cada sentido de la circulación, con cuatro carriles, y vallado perimetral en toda su longitud, limitando así los accesos a las propiedades colindantes. Dicha vía se construyó entre los años 1993 y 1999, año en el que fue abierta al tráfico. Presenta una intensidad media diaria de tráfico de 7.500 vehículos, con un 25% de tráfico pesado (Datos de aforos facilitados por la Dirección General de Tráfico, 2003).

Los trabajos de control se han llevado a cabo en un tramo de 220 km comprendido entre Benavente y Orense, si bien tal y como se detallará en el apartado 2.3.5 el trabajo más intensivo se ha desarrollado en la provincia de Zamora, en un tramo de 85 km comprendido entre las poblaciones de Benavente y Requejo (ver figura 2.1). El tramo tiene mayoritariamente orientación Este-Oeste, coincidente con un gradiente de aumento de la altitud, disminución de la temperatura e incremento de las precipitaciones. La carretera atraviesa un paisaje ondulado y se encuentra a 740-1000 msnm, con un clima mediterráneo templado con temperatura media anual de 10-11.5° C y 400-950 mm de precipitación (INM, 2001-2003). Desde un punto de vista biogeográfico, se encuadra en la Región Mediterránea (piso Supramediterráneo), a excepción de unos 40 km, en la provincia de Orense, que pertenecen al piso montano de la Región Eurosiberiana.

Los primeros kilómetros de autovía discurren por tierras llanas pertenecientes a la submeseta norte. Los cultivos de secano dominan el paisaje en los primeros 20 km de autovía atravesando la comarca de Benavente y Los Valles, donde las únicas trazas de vegetación natural se refugian en la cabeza de algunos cerros y en orillas de arroyos y regatos. La vegetación de los siguientes 30 km, que transcurren por la penillanura de la comarca de La Carballeda, aproximadamente hasta la localidad de Mombuey, corresponde a encinares interiores continentales de *Quercus ilex* subs. *rotundifolia* y sus etapas de sustitución derivadas. Al tratarse de terrenos silicícolas, sustratos ácidos, las etapas de sustitución son: jarales (*Cistus ladanifer*), piornales (*Cytisus multiflorus*, *C. scoparius*) y pastizales (*Agrostis castellana*). En esta región los encinares soportan duras condiciones climáticas con muchas heladas (47 días de media al año). Por todo ello, su cortejo es muy pobre, siendo especies características de estos encinares las estepas (*Cystus laurifolius*), la jarilla (*Halimium umbellatum*), la mejorana (*Thymus mastichina*), el tomillo (*Thymus zygis*) y el cantueso (*Lavandula stoechas* subsp. *pedunculata*). Los cultivos se limitan a la zona de vega (maizales, cereales en secano) y a viñedos de reducida extensión en laderas. En los siguientes 45 km, hasta la población de Requejo, el trazado discurre por la comarca Sanabresa y continúa entre parches de melojar (*Quercus pyrenaica*). Estos melojares septentrionales encuadrables ya en el ámbito submediterráneo se hallan lindando con la frontera clásica de la región Eurosiberiana y reciben lluvias muy considerables, incluso en la época veraniega. Se trata de melojares húmedos cuyas etapas de sustitución son: piornales, brezales de *Erica australis* en los suelos más desarrollados, matorrales bajos (*Genista tridentata*, *Halimium ocymoides*, *H. lasianthum*) y prados de siega, pieza clave de la economía regional, con predominio de leguminosas y gramíneas. Por último, ya en la provincia de Orense, el último tramo controlado discurre por áreas claramente más forestadas con las zonas menos perturbadas dominadas por bosques de melojar (Navarro y Valle, 1987; Blanco *et al.*, 1997).

El trazado de la vía discurre por enclaves de una gran riqueza faunística, hecho que posiblemente se deba a su localización geográfica, al tratarse de una zona de confluencia entre dos regiones biogeográficas como son la Mediterránea y la Eurosiberiana. Del conjunto de especies de vertebrados terrestres presentes en la España peninsular, sin incluir aquellas voladoras, es decir, excluyendo aves y murciélagos, aproximadamente un

47% de las especies aparecen citadas en el área de estudio. No obstante, teniendo en cuenta que se tratan de citas realizadas en cuadrículas de 10x10 km, sería más preciso señalar que dichas especies presentan una distribución potencial en el entorno de la autovía (Barbadillo *et al.*, 1999; Pleguezuleos *et al.*, 2002; Palomo y Gisbert, 2002). El grupo con mayor diversidad de especies presentes en la zona es el de los mamíferos, con un total de 40 especies que suponen el 60% de las especies de mamíferos presentes en España. En lo que respecta a la herpetofauna del lugar, el grupo que engloba a los anfibios con un total de 13 especies y el de los reptiles con 23 especies, representan el 45% y el 33% de las especies presentes en la España peninsular, respectivamente (ver tabla 2.1).

Tabla 2.1. Listado de los vertebrados terrestres presentes en el entorno de la autovía A-52, sin incluir aves y murciélagos, según los Atlas de anfibios, reptiles y mamíferos de España (Pleguezuleos *et al.*, 2002; Palomo y Gisbert, 2002). Con asterisco se señalan las especies que pese a no estar citadas en el área, han sido detectadas a lo largo del estudio.

	Orden	Nombre común	Nombre científico
Anfibios	Caudata	Salamandra	<i>Salamandra salamandra</i>
		Gallipato	<i>Pleurodeles waltl</i>
		Tritón jaspeado	<i>Triturus marmoratus</i>
		Tritón ibérico	<i>Triturus boscai</i>
	Anura	Sapo partero ibérico	<i>Alytes cisternasii</i>
		Sapo partero común	<i>Alytes obstetricans</i>
		Sapo pintojo ibérico	<i>Discoglossus galganoi</i>
		Sapo común	<i>Bufo bufo</i>
		Sapo corredor	<i>Bufo calamita</i>
		Sapo de espuelas	<i>Pelobates cultripipes</i>
		Ranita de San Antón	<i>Hyla arborea</i>
		Rana patilarga	<i>Rana iberica</i>
		Rana común	<i>Rana perezi</i>
Reptiles	Quelonios	Galápago europeo	<i>Emys orbicularis</i>
		Galápago leproso	<i>Mauremys leprosa</i>
	Squamata	Culebrilla ciega	<i>Blanus cinereus</i>
		Lución	<i>Anguis fragilis</i>
		Eslizón tridáctilo ibérico	<i>Chalcides striatus</i>
		Salamanquesa común	<i>Tarentola mauritanica</i>
		Lagarto ocelado	<i>Lacerta lepida</i>
		Lagarto verdinegro	<i>Lacerta schreiberi</i>
		Lagartija serrana	<i>Lacerta monticola</i>
		Lagartija de Bocage	<i>Podarcis bocagei</i>
		Lagartija ibérica	<i>Podarcis hispanica</i>
		Lagartija colilarga	<i>Psammodromus algirus</i>
		Lagartija cenicienta	<i>Psammodromus hispanicus</i>
		Culebra de escalera	<i>Elaphe scalaris</i>
		Culebra lisa europea	<i>Coronella austriaca</i>
		Culebra lisa meridional	<i>Coronella girondica</i>
		Culebra bastarda	<i>Malpolon monspessulanus</i>
		Culebra viperina	<i>Natrix maura</i>
		Culebra de collar	<i>Natrix natrix</i>
		Víbora hocicuda	<i>Vipera latasti</i>
		Víbora de Seoane	<i>Vipera seoani</i>

Tabla 2.1 (continuación). Listado de los vertebrados terrestres presentes en el entorno de la autovía A-52, sin incluir aves y murciélagos. Con asterisco se señalan las especies que pese a no estar citadas en el área, han sido detectadas a lo largo del estudio.

	Orden	Nombre común	Nombre científico
Mamíferos	<i>Insectivora</i>	Musaraña gris	<i>Crocidura russula</i>
		Musaraña de campo	<i>Crocidura suaveolens</i>
		Musaraña ibérica	<i>Sorex granarius</i>
		Musaraña enana	<i>Sorex minutus</i>
		Musgaño de cabrera	<i>Neomys anomalus</i>
		Desmán ibérico	<i>Galemys pyrenaicus</i>
		Topo ibérico	<i>Talpa occidentalis</i>
		Erizo común	<i>Erinaceus europaeus</i>
	<i>Rodentia</i>	Rata topera	<i>Arvicola terrestris</i>
		Rata de agua	<i>Arvicola sapidus</i>
		Topillo lusitano	<i>Microtus lusitanicus</i>
		Topillo campesino	<i>Microtus arvalis</i>
		Topillo de Cabrera	<i>Microtus cabreræ</i>
		Topillo mediterráneo	<i>Microtus duodecimcostatus</i>
		Topillo agreste	<i>Microtus agrestis</i>
		Ratón de campo	<i>Apodemus sylvaticus</i>
		Ratón casero	<i>Mus domesticus</i>
		Ratón moruno	<i>Mus spretus</i>
		Rata negra	<i>Rattus rattus</i>
		Rata parda	<i>Rattus norvegicus</i>
		Lirón careto	<i>Eliomys quercinus</i>
		Ardilla roja*	<i>Sciurus vulgaris</i>
	<i>Lagomorpha</i>	Liebre ibérica	<i>Lepus granatensis</i>
		Conejo	<i>Oryctolagus cuniculus</i>
	<i>Carnivora</i>	Lobo	<i>Canis lupus</i>
		Zorro rojo	<i>Vulpes vulpes</i>
		Armiño*	<i>Mustela erminea</i>
		Comadreja	<i>Mustela nivalis</i>
		Turón	<i>Mustela putorius</i>
		Marta	<i>Martes martes</i>
		Garduña	<i>Martes foina</i>
		Tejón	<i>Meles meles</i>
		Nutria paleártica	<i>Lutra lutra</i>
		Gineta	<i>Genetta genetta</i>
		Gato montés	<i>Felis silvestris</i>
	<i>Artiodactyla</i>	Jabalí	<i>Sus scrofa</i>
		Ciervo	<i>Cervus elaphus</i>
		Corzo	<i>Capreolus capreolus</i>

Un punto clave a la hora de hablar de la fauna presente en la zona y la posible utilización por parte de ésta de las estructuras transversales de la autovía como lugares de paso, es la baja densidad poblacional de los parajes por los que discurre la autovía, especialmente pronunciado en la provincia de Zamora. De hecho, se trata de una de las provincias con menor densidad de población de España, ocupando el cuadragésimo quinto lugar con una media de 19 habitantes/km², que equivale aproximadamente a una quinta parte de la media española (85,6 hab/km²; Instituto Nacional Estadística, 2005). El progresivo abandono del campo y las áreas rurales ha supuesto una intensa regeneración de la

vegetación natural, lo que ha conducido a un incremento de las poblaciones de grandes herbívoros como el ciervo, el corzo y el jabalí. Este hecho además ha favorecido el desarrollo de una densa población de lobo (Blanco, 1998) y obligó a la construcción de pasos específicos y a la adecuación de drenajes en dicha autovía (Santos, 1999). Así mismo, este abandono se traduce en una menor presión antrópica sobre las estructuras transversales, que cuanto menos, no perturbará el potencial uso por la fauna de las mismas.

2.2.2. Autovía del Camino de Santiago (A-231)

La segunda de las autovías seleccionadas es una vía autonómica castellano-leonesa, que fue construida entre los años 1995 y 2003. Su trazado con orientación E-W recorre tres provincias de dicha Comunidad, León, Palencia y Burgos, uniendo con sus 157 kilómetros de longitud las localidades de León y Burgos (ver figura 2.1). La intensidad media diaria de tráfico está entorno a los 4.000 vehículos, de los cuales el 15% son tráfico pesado (Mapas de tráfico de la Junta de Castilla y León, 2004).

En términos biogeográficos, la zona de estudio se encuadra en el área mediterránea subhúmeda (Blanco *et al.*, 1997), concretamente en el piso supramediterráneo, situándose en un rango altitudinal que va desde los 816 m hasta los 882 msnm. Las temperaturas medias anuales varían entre los 8 °C y los 13 °C y la precipitación media anual es de 405-630 mm (Rivas Martínez, 1987; INM 2003-2004), siendo los inviernos particularmente largos y rigurosos.

La mayor parte del trazado de la vía discurre por la comarca de Tierra de Campos, donde las grandes llanuras cerealistas dominan el paisaje. Se trata de una zona de gran valor ecológico, declarada Zona de Especial Protección para las Aves por la presencia de importantes comunidades esteparias.

La autovía atraviesa también parte de la comarca del Páramo, en la que alternan los cultivos de cereal de secano en las altiplanicies con los regadíos en las vegas (ver fotografía 2.1). La vegetación potencial de los páramos está constituida principalmente por melojares y, en menor medida, por encinas y quejigos (*Quercus faginea*). No obstante, la tala continuada, los incendios repetidos, las roturaciones para uso agrícola y el exceso de ganado, han favorecido la presencia de pastizales, restringiendo así, la vegetación original a pequeños enclaves (ver fotografía 2.2). Mención especial requieren las extensas repoblaciones forestales que se han llevado a cabo en esta comarca, sobre todo de pinos albares (*Pinus sylvestris*), salgareños (*Pinus nigra*) y en menor medida resineros (*Pinus pinaster*).



Fotografías 2.1. y 2.2. Campos de cultivo, un paisaje característico del páramo palentino (izquierda) y pastizal con encinar abierto correspondiente al tramo de Burgos (derecha).

El trazado de la autovía A-231 discurre próximo a enclaves de gran riqueza faunística, compartiendo hasta en un 80% el elenco de especies descrito para el entorno de la autovía A-52 (ver tabla 2.1). Las principales diferencias se registran en los grupos de los pequeños vertebrados, un total de 3 especies de anfibios, 7 de reptiles y 2 de micromamíferos no aparecen distribuidas en el entorno de la autovía A-231. Así mismo, debe ser señalada la ausencia de martas en esta zona y la aparición de visón americano (ver listado completo en Anexo I). Por último, cabe señalar que esta autovía discurre por zonas altamente humanizadas, en las que grandes extensiones agrarias han sustituido el hábitat natural de muchas de estas especies, reduciendo parcial o totalmente sus poblaciones en estas áreas.

2.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

En todas las autovías existen numerosas estructuras transversales que potencialmente pueden ser utilizadas por la fauna para cruzar de un lado a otro de la infraestructura. En las dos autovías objeto de estudio en la presente tesis doctoral, se han inventariado las estructuras presentes en una serie de tramos concretos (ver tabla 2.2).

Tabla 2.2. Número de estructuras inventariadas según autovía y tramo. Se detalla la longitud de los tramos seleccionados (km) y el número final de estructuras controladas.

Vía	Tramos seleccionados	Provincia	Tramo (km)	Inventario (nº estruct.)	Nº estructuras controladas
A-52	Benavente-Requejo (ppkk 1+400-91+150)	Zamora	89,75	216	109
	Allariz-Orense (ppkk 177+500-216+300)	Orense	38,8	4	4
A-231	El Burgo Ranero- Calzada del Coto (ppkk 31+400-44+850)	León	13,45	19	7
	Moratinos-Carrión de los Condes (ppkk 59+200-88+550)	Palencia	25,35	55	24
	Sasamón- Las Quintanillas (ppkk 132+850-149+450)	Burgos	16,6	19	9
TOTAL			183,95	313	153

En la elaboración de dicho inventario se han considerado un total de 25 variables destinadas a describir y caracterizar el entorno, así como la estructura propiamente dicha (ver tabla 2.3. y Anexo II).

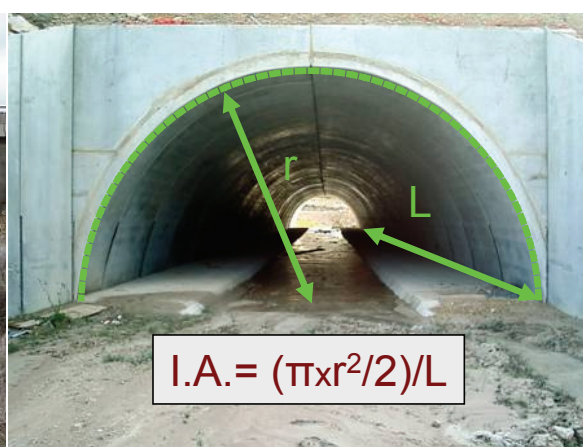
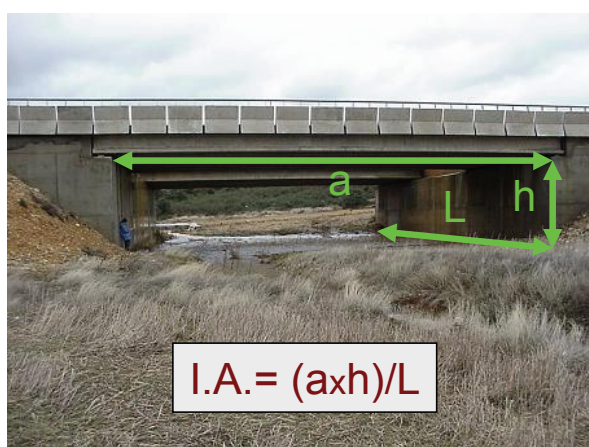
Tabla 2.3. Variables empleadas en la elaboración del inventario de las estructuras transversales de ambas vías.

Variables		
Localización	Características estructurales	Entorno
<ul style="list-style-type: none"> – UTM (E y N) – Punto kilométrico (pk) – Tramo – Municipio – Provincia 	<ul style="list-style-type: none"> – Tipo de paso (descripción general) – Función (drenaje, restitución de caminos, etc.) – Embocadura (circular o de marco) – Solado (cemento, asfalto o tierra) – Dimensiones (diámetro, anchura, altura, longitud e índice de apertura). – Balaustradas – Características de la mediana – Arquetas – Cauce (inexistente, temporal o permanente) – Accesos (a nivel, en trinchera, etc.) – Cerramiento 	<ul style="list-style-type: none"> – Vegetación circundante – Labores de revegetación – Distancia a cobertura vegetal (setos/forestal) – Distancia a áreas urbanizadas – Presencia de huellas en el entorno y en el interior del paso

En relación con las variables estructurales empleadas cabe destacar la utilización del índice de apertura (I.A.), mediante el cual se relaciona, las dimensiones de la sección de la estructura con la longitud del mismo (Olbrich, 1984; ver fotografías 2.3. y 2.4). Este parámetro puede servir como un indicador inversamente proporcional del efecto túnel que pueden percibir las especies al utilizar las estructuras inferiores a la vía. No obstante, también ha sido adaptado para los pasos superiores, para los cuales se ha establecido como una relación entre el ancho del paso y la longitud de éste.

$$\text{I.A. Pasos Inferiores} = \frac{\text{sección}}{\text{longitud}}$$

$$\text{I.A. Pasos Superiores} = \frac{\text{ancho}}{\text{longitud}}$$



Fotografías 2.3. y 2.4. Dos ejemplos de cálculo del Índice de Apertura en dos pasos inferiores de diferente sección.

Finalmente, atendiendo a las principales características funcionales y estructurales, se ha definido una tipología básica para agrupar las estructuras transversales a la vía. Seguidamente, se presentan cada uno de los tipos distinguidos.

2.3.1. Obras de drenaje

En esta clase se incluyen todas aquellas estructuras cuya función principal es el drenaje de la calzada, permitiendo el paso del agua recogida en desagües perimetrales, o la de pequeños torrentes o riachuelos. De forma secundaria pueden presentar modificaciones que faciliten el paso de la fauna. Estas obras de drenaje a su vez se dividen en dos tipos:

2.3.1.1. Drenajes circulares

Se incluyen todos los drenajes de hormigón o chapa corrugada de sección circular que no presentan ningún tipo de adecuación para favorecer el paso de la fauna (ver fotografías 2.5. y 2.6). El diámetro de estas estructuras varía entre los 60 cm y los 180 cm. La longitud media de estas estructuras en ambas autovías, A-52 y A-231, es de 46,7 m y 49,10 m respectivamente. La autovía A-52 presenta una mayor densidad de este tipo de estructuras respecto a la autovía A-231 (ver tabla 2.4).



Fotografías 2.5. y 2.6. Drenaje circular de hormigón de la autovía A-52 (izquierda) y drenaje circular de chapa corrugada de la autovía A-231 (derecha). Ø 1,80m.

2.3.1.2. Drenajes adecuados

En este grupo se han reunido todos aquellos drenajes que han sido acondicionados para favorecer su uso por la fauna. Todos ellos presentan una amplia base horizontal que favorece el paso de los animales (Rosell y Velasco, 1999). Son drenajes sobredimensionados, con dimensiones que varían entre los 2-4 m de alto y de ancho. La longitud varía entre los 38,4 y los 63,8 m. Aunque el diseño básico consiste en una caja de hormigón de embocadura rectangular (fotografía 2.7.), también son frecuentes otros tipos de materiales (chapa corrugada), así como diferentes secciones (ver fotografía 2.8).



Fotografías 2.7. y 2.8. Drenajes adecuados de la autovía A-52, de embocadura ojival (izquierda) y drenaje adecuado de marco (derecha).

2.3.2. Pasos mixtos

Bajo esta denominación se han agrupado todos aquellos pasos cuya función original es el restablecimiento de carreteras y caminos, aunque de forma secundaria puedan ser utilizados por la fauna. En función de su posición respecto a la vía se distinguen dos tipos: superiores e inferiores.

2.3.2.1. Pasos superiores mixtos

Son todos aquellos puentes construidos para restablecer la comunicación entre caminos rurales y carreteras locales interrumpidos por el trazado de la infraestructura (ver fotografía 2.9). Las diferencias entre los pasos superiores que restituyen caminos y los que restituyen carreteras radican básicamente en la anchura del puente y en el material del firme. Así, mientras que los primeros tienen una anchura entre 7 y 8 m, en los segundos la anchura es de 10 a 18 m, dependiendo de la categoría de la carretera. En cuanto al suelo del paso, éste es lógicamente de asfalto en toda su longitud, en el caso de carreteras, mientras que cuando lo que se restituye es un camino o una vía pecuaria, sólo el tablero de la estructura está asfaltado, siendo las rampas de acceso generalmente de tierra. La longitud de los pasos superiores, contabilizando sólo la de los tableros oscila entre los 62 y los 100 m.

2.3.2.2. Pasos inferiores mixtos

Son estructuras generalmente de sección rectangular de hormigón (ver fotografía 2.10). El suelo puede ser de hormigón, tierra, o asfalto, en el caso de aquellos pasos inferiores que restituyen carreteras. La anchura de estos pasos se sitúa entre 6 y 9 m, mientras que su altura puede variar entre los 3 y los 7 m. La longitud oscila entre 30 y 90 m, dando lugar a índices de apertura de 0,400 a 3,015.



Fotografías 2.9. y 2.10. Paso superior mixto de la autovía A-52 (izquierda) y paso inferior mixto de la autovía A-231 (derecha).

2.3.3. Pasos específicos

Son estructuras transversales exclusivamente diseñadas para el tránsito de la fauna, y a través de la cuales se trata de reducir el efecto barrera producido por la infraestructura, incrementando la permeabilidad de ésta. Se trata de estructuras poco frecuentes en el trazado de una infraestructura lineal de transporte (ver tabla 2.4), cuya aparición en los proyectos suele estar ligada a dictámenes procedentes de las Declaraciones de Impacto Ambiental.

2.3.3.1. Pasos superiores específicos

También llamados ecoductos o puentes verdes, estas estructuras presentan la estructura de un puente, pero su diseño es exclusivo para el paso de la fauna. Este tipo de estructuras tienen el acceso restringido a vehículos, aunque tal y como se comprobó a lo largo del estudio, no siempre es respetado. Suelen estar revegetados por especies herbáceas de poca altura, para que los animales tengan buena visibilidad del extremo contrario del paso (ver fotografía 2.11). Así mismo, se aconseja la colocación de pantallas opacas de protección dirigidas a reducir las molestias a los animales causadas por la luz y el ruido generado por el tráfico. No obstante, de los cinco pasos superiores presentes en las dos autovías objeto de estudio, sólo uno de ellos contaba con tal adecuación (ver fotografía 2.12).



Fotografías 2.11 y 2.12. Paso superiores específicos, de la autovía A-52 (fotografía izquierda) y otro ejemplo de la autovía A-231 (fotografía derecha).

2.3.3.2. Pasos inferiores específicos

Son estructuras de gran amplitud que suelen presentar unos 20 m de ancho por 5 a 7 m de alto. En ocasiones la mediana está descubierta, dotando de una mayor luminosidad al paso. Dado su carácter específico, no son atravesados por ningún camino, evitando así el tránsito de vehículos y la frecuentación humana en general. (ver fotografía 2.13). También es muy importante, aunque no es una práctica habitual, la revegetación de estas estructuras con ánimo de naturalizar el paso y favorecer así, el tránsito de la fauna.

Cabe señalar que dentro de este mismo grupo se han incluido aquellos drenajes sobredimensionados con más de 4 m de alto y ancho. Entre estos drenajes se distinguen a su vez dos tipos básicos en función del tipo de sección: de marco y abovedados. Además, estos drenajes se caracterizan por presentar, en su mayoría, aceras laterales cuya función, en principio, es la de asegurar un corredor para el paso en seco de los animales (ver fotografía 2.14).



Fotografías 2.13 y 2.14. Pasos inferiores específicos: un ejemplo de paso de embocadura de marco con mediana descubierta de la autovía A-52 (fotografía izquierda) y otro ejemplo de drenaje sobredimensionado con acera de la autovía A-231 (fotografía derecha).

2.3.4. Viaductos

Generalmente localizados sobre vaguadas del terreno, los viaductos, junto con los túneles y falsos túneles, constituyen sin duda las estructuras más permeables al paso de la fauna silvestre.

Son estructuras de gran anchura que puede ir desde los 45 m a los 800 m, y que presentan obviamente los mayores índices de apertura: entre 2,4 y 28,8.



Fotografías 2.15 y 2.16. Vista de los viaductos de arroyo Cueva de Cabañas (fotografía izquierda) y del arroyo Cueva (fotografía derecha) ambos en la autovía A-231

A continuación se expone de forma resumida en la tabla 2.4. el número total de estructuras transversales inventariadas en cada una de las autovías objeto de estudio, siguiendo la tipología previamente presentada. Así mismo, a modo de indicador de la densidad de cada uno de los tipos de estructuras, se muestra la distancia media entre estructuras del mismo tipo.

Tabla 2.4. Proporción de estructuras transversales según los tipos distinguidos. Se muestra el número de estructuras (n) y la distancia media entre estructuras del mismo tipo (en metros), para cada tramo inventariado de las dos autovías. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto; PSE: paso superior específico y Vdto: viaducto.

Vía	Tramos	DC	DA	PIM	PSM	PIE	PSE	Vdto
A-52	Benavente-Requejo (ppkk 1+400-91+150)	n= 75 1.219	n=28 3.074	n=43 2.089	n=51 1.763	n=7 13.890	n=28 3.074	n=10 8.389
	El Burgo Ranero- Calzada del Coto (ppkk 31+400-44+850)	n=6 2.270	n=7 2.042	-	n=2 6.600	n=4 3.400	-	-
A-231	Moratinos-Carrión de los Condes (ppkk 59+200-88+550)	n=9 800	n=24 1.102	n=5 5.088	n=10 2.389	n=1	n=1	n=5 4.413
	Sasamón- Las Quintanillas (ppkk 132+850-149+450)	n=2 3.50	-	n=7 2.420	n=4 2.383	n=6 1.980	-	-

2.3.5. Selección de las estructuras objeto de seguimiento

La obtención de datos se ha realizado mediante muestreos estratificados, en los que la elección de las estructuras a controlar ha estado supeditada al cumplimiento de tres premisas básicas: (i) incluir todos aquellos diseñados específicamente para el paso de la fauna silvestre, (ii) incorporar todos los tipos anteriormente caracterizados y (iii) obtener una muestra que fuera representativa del conjunto de estructuras presentes en la autovía. No obstante, en la práctica también las condiciones climatológicas han determinado en buena medida la selección final, especialmente en aquellas controladas mediante el registro de huellas con bandas de marmolina (ver siguiente apartado). De hecho, en periodos de frecuentes precipitaciones resultaba impracticable el seguimiento de los pasos superiores, así como, el de algunos drenajes.

En las dos autovías se ha descartado el control de los viaductos, habiendo sido consideradas como estructuras de máxima permeabilidad para el paso de la fauna. Por un lado, la ubicación de estas grandes obras en corredores naturales como son los cauces fluviales y, por otro, sus dimensiones dotan a la infraestructura de una elevada permeabilidad para la fauna en estos puntos del trazado. Además, cabe añadir las dificultades técnicas que supondría el control de estas estructuras cuya anchura media está en torno a los 150-300 metros.

En la autovía A-52 se han controlado un total de 113 estructuras a lo largo de diferentes campañas. Básicamente, estas estructuras pueden agruparse en 6 tramos distintos de la autovía (ver tabla 2.5). Teniendo en cuenta la longitud total de la autovía, las labores de seguimiento se han desarrollado únicamente en un 33% de su extensión, llegándose a controlar en términos generales, una estructura cada 900 metros.

Cabe señalar que el seguimiento de todas ellas no ha sido simultáneo, si no que se ha ido alternando en cada una de las campañas de control realizadas entre el año 2001 y el 2003. No obstante, cada una de estas campañas será presentada con detalle en los siguientes capítulos y, de forma complementaria, serán tratadas conjuntamente en el capítulo final de análisis general (capítulo 9).

Tabla 2.5. Estructuras controladas en la autovía A-52. Se detalla el tramo en el que se sitúan, la temporada de seguimiento y el método de control empleado. M: marmolina y F: sistema fotográfico.

Tramos controlados de la autovía A-52	Nº estructuras controladas							
	Primavera 2001		Otoño 2001		Verano 2002		Invierno 2003	
	M	F	M	F	M	F	M	F
ppkk 2+750 - 10+050	-	-	-	-	17	9	-	-
ppkk 19+550 - 28+050	-	-	-	-	11	8	11	9
ppkk 34+350 - 51+750	10	-	6	6	14	10	14	10
ppkk 59+400 - 74+250	10	-	5	5	40	20	14	19
ppkk 75+650 - 91+150	19	-	-	-	-	-	-	-
ppkk 177+500 - 216+300	4	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	43	-	11	11	82	47	39	38

En la autovía A-231 se han llevado a cabo dos campañas de seguimiento, ambas a lo largo de los meses de verano (junio-septiembre) de 2003 y 2004. De acuerdo con los criterios de selección, anteriormente citados, se han controlado finalmente un total de 40 estructuras transversales. Las estructuras seleccionadas se sitúan en tres tramos de distinta longitud, uno en cada una de las provincias por las que discurre dicha autovía (ver tabla 2.6). El seguimiento final ha abarcado casi un 40% de la longitud total de la autovía, con una estructura controlada cada 1.485 metros.

Tabla 2.6. Estructuras controladas en la autovía A-231. Se detalla el tramo en el que se sitúan, la temporada de seguimiento y el método de control empleado. M: marmolina, F: sistema fotográfico.

Tramos controlados de la autovía A-231	Nº estructuras controladas			
	Verano 2003		Verano 2004	
	M	F	M	F
El Burgo Ranero- Calzada del Coto (León) (ppkk 31+400-44+850)	-	-	7	6
Moratinos-Carrión de los Condes (Palencia) (ppkk 59+200-88+550)	24	6	7	6
Sasamón- Las Quintanillas (Burgos) (ppkk 132+850-149+450)	8	4	9	5
TOTAL	33	10	23	17

2.4. MÉTODOS DE CONTROL

Para la consecución de los objetivos planteados en la presente tesis, se han empleado dos sistemas de control: el registro de huellas mediante marmolina y un sistema fotográfico diseñado específicamente para este estudio.

El control de cada uno de los pasos se realizaba diariamente hasta obtener un total de 10 días válidos por campaña. Los días en los que la marmolina no estaba en buenas condiciones para un correcto registro de las huellas o bien, el sistema fotográfico no había funcionado correctamente, se anulaban, por lo que en ocasiones, el control llegaba a prolongarse hasta 15 ó más días.

2.4.1. Registro de huellas

El método más ampliamente utilizado ha sido el análisis de las huellas y señales dejados por los animales. En algunos drenajes se ha aprovechado el barro acumulado en su interior como superficie de registro, una vez allanado y alisado. En función de la consistencia del barro, se hizo necesario humedecerlo periódicamente, con el fin de garantizar la calidad de las impresiones. En el resto de los casos se ha empleado polvo de mármol (marmolina) como sustrato de registro. La marmolina es un material inodoro, permite impresiones de alta calidad y su elevada densidad impide que sea arrastrada por el viento (Yanes *et al.*, 1995).

Las bandas control se disponían de un extremo al otro de la estructura, de forma perpendicular al eje mayor y generalmente hacia la mitad de ésta. La anchura de la banda era de 1 m, y su espesor de entre 3 y 10 mm aproximadamente, en función de la rugosidad del terreno. En los drenajes de chapa corrugada, para lograr una superficie lisa sobre la que colocar la marmolina, se emplearon tabloncillos de madera de 1 m x 1m. El espacio libre entre la madera y el suelo se rellenó con tierra para evitar que los animales de pequeño tamaño pasaran por debajo evitando así ser detectados (ver fotografías 2.17 y 2.18).

El esfuerzo empleado en instalar estas bandas es extremadamente variable entre pasos, dependiendo esencialmente de cuatro factores: (i) las dimensiones del paso, (ii) el tipo de sustrato (si es hormigón o tierra), (iii) la microtopografía (llano o rugoso), y (iv) la distancia del paso a que puede ser aportada la marmolina en vehículo. En cualquier caso, y excepto en pasos muy particulares, el esfuerzo para montar estos controles resulta considerable. Suponiendo un paso de unos 10 m de anchura (los más anchos miden unos 20 m), se emplean por término medio unos 100 kilogramos de marmolina para su instalación, a lo que hay que añadir unos 20 Kg. diarios para su mantenimiento, cifra que supone en los controles habituales de 10 días funcionales/paso unos 200 Kg. de marmolina de reposición. Se necesitan por tanto unos 30 Kg. de marmolina por metro lineal de control para su instalación y mantenimiento.



Fotografías 2.17. y 2.18. Disposición de la banda de marmolina en un drenaje de chapa corrugada de la autovía A-231.

El tiempo de instalación y mantenimiento es otro factor a considerar en el esfuerzo a realizar cuando se utiliza este método. El transporte desde el vehículo situado en la embocadura del paso hasta el centro del paso y la creación de la banda y alisamiento se ha estimado en unas 4 horas en los pasos más anchos (20 m), lo cual supone unas 2 horas por 10 m de paso. La reposición de la marmolina y el alisamiento de la misma resulta muy variable, pero se puede estimar en unos 20 minutos/visita. El tiempo total que supone el control de las huellas en un paso, considerando igualmente 10 días efectivos como el período de control, es del orden de unas 7-8 horas, tiempo que, aunque no es

excesivo, sí resulta elevado cuando se está controlando un número representativo de pasos en el mismo periodo.

2.4.1.1. Identificación de las huellas

La identificación de las huellas se ha realizado siguiendo a Strachan (1995), Sanz (1996), Bang y Dahlström (1997) y Blanco (1998), así como la experiencia personal adquirida a lo largo del estudio (ver figura 2.2).

Existen, sin embargo, especies cuyas huellas son en la práctica imposibles de distinguir entre sí. Éste es el caso de las especies pertenecientes a la familia de los múridos (ratas, ratones y topillos), las diferentes especies de musarañas (Fam. *Soricidae*), así como entre determinados mustélidos. Otras especies sujetas a confusión son: conejos y liebres; gato doméstico y gato montés; perro de gran tamaño y lobo; y todas aquellas especies pertenecientes a grupos de anfibios o reptiles. A la hora de tratar los resultados obtenidos y teniendo en cuenta estas limitaciones intrínsecas a la metodología empleada, se han establecido distintos grupos faunísticos, agrupando aquellas especies que podrían ser erróneamente identificadas. Estos grupos son los siguientes:

- Anuros: incluye a todas las especies de ranas y sapos.
- Urodelos: en el que se agrupan diversas especies de tritones (*Triturus* sp.) y el gallipato (*Pleurodeles waltl*).
- Lacértidos: corresponde a todas las especies comúnmente denominadas lagartos y lagartijas.
- Ofidios: comprende todos los rastros pertenecientes a colúbridos y vipéridos.
- Ratas: incluye a *Rattus* spp.
- Ratas de agua: engloba a *Arvicola* spp
- Ratones: reúne musarañas, ratones y topillos.
- Comadreja: agrupa los rastros de comadreja (*Mustela nivalis*) y armiño (*Mustela erminea*).
- Gato: se incluye al gato doméstico (*Felis catus*) y al gato montés (*Felis silvestris*).
- Cánidos: engloba tanto las huellas de perros (*Canis familiaris*) como las de lobos (*Canis lupus*).
- Lagomorfos: se agrupan las huellas de conejos (*Oryctolagus cuniculus*) y liebres (*Lepus granatensis*).



Figura 2.2. Dibujos de algunas huellas de garduña registradas sobre barro, cortesía de Israel Hervás.

2.4.2. Sistema fotográfico

El segundo método de control empleado se trata, básicamente, de un sistema de registro automático que deja constancia a través de fotografías del paso de los animales por las distintas estructuras.

El sistema fotográfico en cuestión se diseñó específicamente para este estudio (ver fotografías 2.19 y 2.20), teniendo en cuenta para ello cada uno de los requerimientos técnicos necesarios para asegurar su función. Por un lado, debían ser sistemas capaces de trabajar tanto en campo abierto, donde las variaciones térmicas y los movimientos de la vegetación pueden provocar falsas detecciones, como en lugares semicerrados en los que el paso de animales se produce rápidamente, por lo que los animales deben ser detectados y registrados casi de forma instantánea. Además, el gran número de especies animales susceptibles de utilizar los pasos, desde pequeños anfibios y micromamíferos hasta grandes ungulados, hacía necesaria la utilización de sistemas lo suficientemente sensibles como para que el tamaño del animal no condicionara su detección. Por otra parte, al tratarse de estructuras en su mayoría de uso mixto, era necesario que el sistema de registro de información fuera de elevada capacidad, con el fin de que el frecuente tránsito de vehículos y personas por estas zonas no impidiera el posterior registro de animales debido a su agotamiento. Por último, su funcionamiento debía de ser posible

con baterías de pequeño tamaño, que pudieran ser fácilmente camufladas, y con consumos energéticos reducidos, lo que posibilitaba revisiones de los sistemas más dilatadas en el tiempo.

El sistema finalmente desarrollado consta de tres elementos fundamentales: (1) los sensores de movimiento, (2) la cámara fotográfica de tipo digital y (3) el controlador encargado de la transmisión de señales desde los sensores a la cámara.



Fotografías 2.19 y 2.20. Fase de montaje en el desarrollo de los sistemas fotográficos: adecuación de las cámaras (izquierda) y montaje de los receptores de infrarrojo.

2.4.2.1. Sensores de movimiento

En líneas generales, los sensores de movimiento tienen como finalidad el envío de una señal eléctrica al controlador de la cámara cuando algo o alguien ingresa en la superficie o línea de detección

El principal problema para el estudio de los pasos de fauna ha sido la necesidad de utilizar sensores lo suficientemente sensibles como para que no resultase determinante el tamaño del animal, permitiendo así, tanto la detección de grandes ungulados como de especies muy pequeñas, como son los roedores. Sin embargo, una sensibilidad excesivamente elevada puede resultar contraproducente, ya que incrementa sustancialmente el número de falsos contactos, debidos generalmente a variaciones bruscas de las condiciones ambientales o a movimientos de la vegetación circundante, que pueden ser detectados por los sensores como si fuesen un animal.

Entre toda gama de sensores de movimiento adecuados para la detección rápida de animales se ha considerado la utilización de dos tipos principales: (1) infrarrojo pasivo, más conocido como PIR, y (2) de barrera o de haz de infrarrojos, también conocido como detector activo.

- Detector infrarrojo pasivo

El detector infrarrojo pasivo, también denominado detector volumétrico o PIR (Passive Infra-Red), utiliza la radiación térmica que emiten todos los cuerpos en el área del infrarrojo del espectro electromagnético. Es capaz de detectar mínimas variaciones de radiación infrarroja que se produzcan en el entorno, tales como las producidas por el cuerpo de un animal, y añadirles la condición de movimiento para su activación.

Este tipo de sensores sólo se utilizó en la primera campaña de seguimiento en la que se incluyó el sistema fotográfico, que fue llevada a cabo entre los meses de septiembre y noviembre de 2001. El elevado número de falsos contactos producidos por la alta sensibilidad de este tipo de sensor, hizo que se descartara su utilización en las siguientes campañas.

- Detector de barrera de infrarrojos

Se trata de uno de los sensores denominados activos, ya que requiere de un módulo que emite señales y otro que las recibe. La barrera está constituida por un emisor de infrarrojos y dos receptores, colocados a ras del suelo y a 20 cm del mismo para detectar incluso los animales más pequeños (ver fotografía 2.24). Su funcionamiento es muy simple, este detector reacciona cuando un animal, persona u objeto opaco impide el paso de un haz de luz infrarroja (ver figura 2.3). Su sensibilidad depende de la anchura y potencia del haz infrarrojo situado entre un circuito electrónico emisor, que genera la luz infrarroja, y un módulo detector de las señales luminosas que se encuentra enfrente a la línea de progresión de la luz.

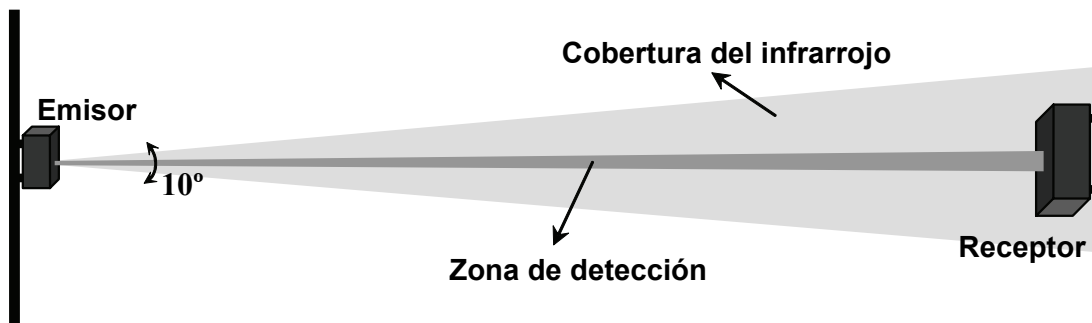


Figura 2.3. Esquema de la dispersión de la luz infrarroja y situación del haz de detección del detector de barrera.

La principal ventaja de este tipo de sensores es que, mediante una adecuada calibración, alineación y montaje, se puede detectar el paso de animales de tamaño muy pequeño, capaces de interrumpir con su cuerpo una barrera de infrarrojos de aproximadamente 1 cm² de diámetro. Además, al estar perfectamente delimitada la situación espacial del haz luminoso, el empleo de este sistema permite que el encuadre de la fotografía englobe exactamente la línea luminosa, aumentado al máximo la probabilidad de que el animal sea fotografiado. Entre los inconvenientes se encuentra el relativamente elevado consumo del módulo emisor de luz infrarroja, la necesidad de emplear dos aparatos distintos y alejados entre sí, y la posibilidad de activación por insectos de mediano tamaño que crucen el haz o se posen sobre la abertura óptica del receptor o sobre los leds emisores de luz del emisor.

2.4.2.2. Cámaras digitales

La cámara fotográfica como elemento clave del sistema requería una cuidada selección, para la cual se partía de dos requerimientos indispensables, por este orden, (1) que el tiempo de captura de las fotos fuera reducido, menor a un segundo desde que se pulsa el botón de disparo hasta que se captura la imagen, y (2) que el consumo energético fuera compatible con la utilización de baterías de pequeño o mediano tamaño.

A lo largo de las distintas campañas de seguimiento se han empleado tres modelos diferentes de cámaras digitales, si bien se llegaron a probar más de 120 modelos durante el proceso de selección. Así mismo, cabe señalar que estos cambios han estado en buena medida condicionados por la pérdida de equipos como resultado de actos vandálicos.

El primero de los modelos, utilizado en la campaña otoñal de 2001, fue la cámara ePhoto 780c de Agfa®, la cual presentaba una elevada rapidez de disparo (0,5 segundos). En las siguientes campañas de muestreo (junio-septiembre 2002 y enero-abril 2003), al quedar descatalogada la cámara anterior, se sustituyó por la cámara Sanyo® VPC R1, con un tiempo de captura de imágenes desde que se pulsaba el disparador de 1 segundo. Por último, en la campaña de 2004 (junio-agosto) en la autovía A-231 se utilizó la cámara Fujifilm® Finepix A-202 con una velocidad de disparo de 0,4 segundos.

El empleo de cámaras digitales, en lugar de las tradicionales analógicas, ha sido totalmente determinante para el funcionamiento exitoso del sistema, debido principalmente a que (i) el número de fotografías que son capaces de almacenar es muy elevado, permitiendo la realización de series continuas, (ii) las imágenes pueden verse en el momento, y por último, (iii) permiten el tratamiento digital de las imágenes, lo que en ocasiones resulta muy importante para determinar correctamente a la especie que utiliza el paso (ver fotografías 2.21 y 2.22).



Fotografías 2.21 y 2.22. Fotografía tal como se obtuvo de la cámara (izquierda) y la misma foto tras realizar una pequeña corrección digital de brillo y contraste (derecha).

2.4.2.3. Controlador de la cámara

El controlador de la cámara es un módulo electrónico que determina el funcionamiento de ésta. Tiene como principales funciones: (1) traducir el impulso eléctrico

que llega de los detectores de movimiento, ordenando a la cámara si es necesario la toma de fotografías, (2) determinar el número de fotografías que se realizan tras cada detección, (3) evitar que la cámara se apague totalmente después de un tiempo de reposo, función que presentan todas las cámaras digitales para evitar un consumo innecesario de baterías, (4) permitir la configuración de distintas temporizaciones de reposo de la cámara entre activaciones sucesivas, y (5) la alimentación de la cámara, permitiendo que todo el sistema funcione con una fuente de alimentación única. Por último, la llegada de señales eléctricas al controlador procedentes de los detectores se realizó durante la primera campaña, mediante la utilización de módulos de radiofrecuencia y en el resto, directamente por cable.

2.4.2.4. Instalación del sistema fotográfico en campo

La instalación del sistema fotográfico presenta ciertas diferencias en función del tipo de paso de que se trate, aunque en líneas generales consta de tres elementos físicamente aislados: (i) la cámara fotográfica, con su controlador y batería, (ii) el emisor de infrarrojos con su batería, y (iii), los receptores de infrarrojos.

Las cajas estancas que contienen los equipos se anclan mediante tornillos a las paredes de la estructura, en el caso de los pasos inferiores, y a los pretiles en el caso de los pasos superiores. En los drenajes, tanto circulares como de marco, la cámara se separó unos 4 m aproximadamente del lugar donde se colocaban los receptores y el emisor (ver fotografía 2.23).

La altura sobre el suelo del emisor y los receptores de infrarrojos debe de ser lo más reducida posible, con el fin de que aún los animales más pequeños intercepten el haz de infrarrojos.

Una vez finalizada la instalación, cada paso se visitaba diariamente para volcar los datos de la cámara a un ordenador portátil, comprobando así el correcto funcionamiento del sistema. Así mismo, cada 4 ó 5 días se procedía a la sustitución de las baterías.



Fotografías 2.23 y 2.24. Instalación del sistema fotográfico en un drenaje adecuado (izquierda) y en un paso superior mixto (derecha).

2.5. TRATAMIENTO DE DATOS

En este apartado se presentan las técnicas de análisis más generalizadas en la exploración de los resultados expuestos en esta tesis. No obstante, aquellos métodos empleados de forma particular en el desarrollo de un único capítulo, se encuentran ampliamente detallados en el capítulo en cuestión.

Como lugar común de partida se ha establecido la unidad básica de análisis, siendo ésta el número de días en los que la especie/grupo faunístico es registrada haciendo uso de la estructura transversal al cabo de los 10 días de observación. Independientemente del número de rastros o contactos fotográficos obtenidos en un mismo día, éstos se contabilizan como una unidad para, de este modo, reducir en lo posible los problemas de pseudorreplicación asociados a la posibilidad de contabilizar varios registros de una misma especie en un mismo paso y día.

Así mismo, se han definido los factores objeto de interés, que en un principio pudieran estar determinando la utilización o no de los pasos por las distintas especies. Por un lado, se han distinguido las características estructurales del paso y por otro lado, una serie de variables relacionadas con el entorno. Entre estas últimas, se han considerado tres variables: (i) la ubicación del paso, representada por el punto kilométrico de la autovía en el que se localiza la estructura (pk). A través de esta variable se pretende introducir en los análisis las posibles variaciones en la fauna vertebrada asociadas al gradiente ambiental atravesado por la carretera. En segundo lugar (ii), la presencia de vegetación en las proximidades del mismo, midiendo la distancia mínima desde cada una de las embocaduras del paso a la cobertura vegetal. Y por último (iii), la perturbación humana, tanto directa, entendida ésta como los registros derivados del tránsito de vehículos, personas a pie o de ganado en cada uno de los pasos, como indirecta, representada a través de la distancia de cada estructura a zonas urbanizadas.

Para el conjunto de los análisis, las variables estructurales se han reunido en un único factor denominado *tipo de paso*. Dicho factor actúa como variable resumen en el cual quedan agrupadas estructuras que cumplen la misma función y presentan un diseño similar. Este factor informa de la posición de la estructura respecto a la vía (inferior o superior) y del diseño de la misma (específico o mixto). Además, se ha comprobado que cada uno de los tipos distinguidos en las dos autovías engloba estructuras con índices de apertura semejantes, lo cual refuerza el valor del factor *tipo* como variable capaz de sintetizar las diferencias existentes entre los pasos estudiados (figura 2.4).

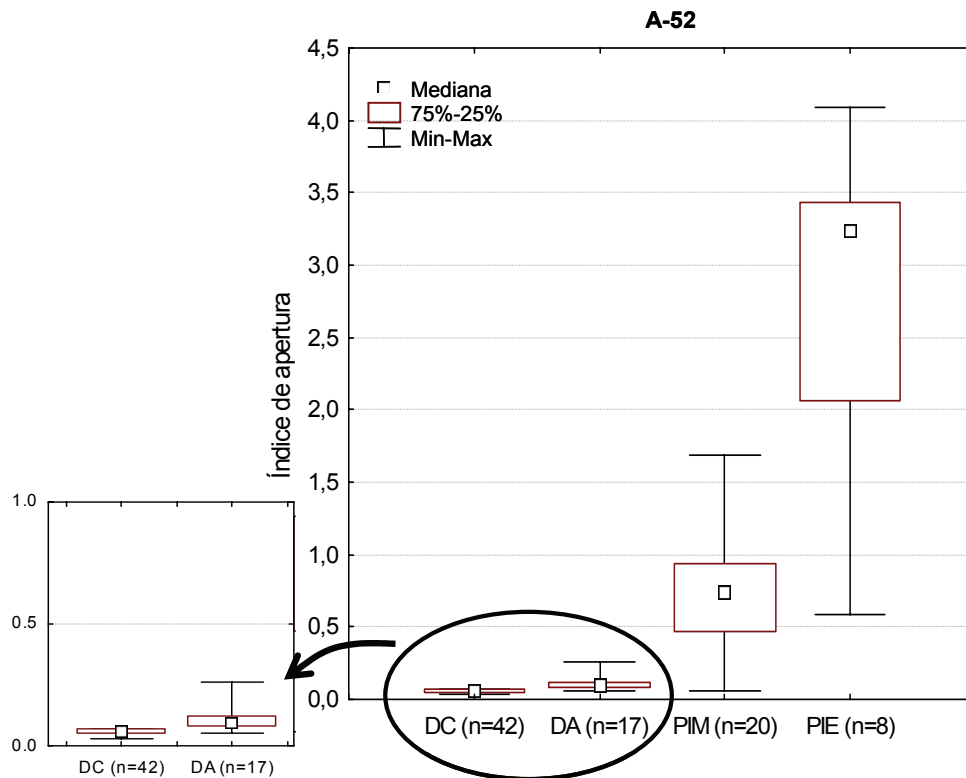


Figura 2.4. Representación de los distintos tipos de pasos inferiores presentes en la autovía A-52, que ejemplifica las diferencias entre tipos en función del índice de apertura. Se indica la mediana, el rango en el que se encuentran el 50% central de los casos y los valores máximos y mínimos obtenidos en cada tipo de paso. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico.

La utilización relativa de cada tipo de estructura por cada una de las especies se ha establecido mediante un índice de uso (I.U.) definido como:

$$I.U. = \frac{n_{ij} \bullet tp_j}{N_i \bullet TP}$$

donde n_{ij} es el número de observaciones-día para una especie o grupo faunístico i en un tipo de estructura j ; tp_j es el número de estructuras del tipo j ; N_i es el número de observaciones-día para una especie (o grupo) i en el total de estructuras y TP es el número total de estructuras controladas. Este índice de uso permite comparar sin sesgos por tamaño muestral los registros observados en un tipo de paso con los esperados teniendo en cuenta todos los tipos de pasos, siendo 1 el valor de I.U. en el caso de una utilización igual a la esperada.

Siempre que ha sido posible se han analizado los resultados mediante métodos paramétricos, evaluando para ello el cumplimiento de cada uno de los supuestos necesarios para su utilización. No obstante, en algunos casos, se han violado determinadas asunciones, siempre y cuando éstas no mermaran la potencia y fiabilidad del análisis. Por ejemplo, en el análisis general que se presenta en el capítulo 9, se ha comprobado que los datos no cumplían el supuesto de multi-homocedasticidad necesario

para aplicar el MANCOVA, sin embargo, se ha continuado con el análisis porque se trata de un método robusto a esta violación, al no producirse una correlación de distinto signo entre variables en los diferentes niveles del factor.

En líneas generales, en los casos de incertidumbre sobre la robustez de los métodos paramétricos se ha optado por la opción más conservadora aplicando métodos no paramétricos (test de Wilcoxon y Kruskal Wallis). Así mismo, de acuerdo con esta actitud, siempre que se han efectuado múltiples estimas de probabilidad, se ha optado por aplicar la corrección secuencial de Bonferroni para contrarrestar el incremento de la probabilidad de cometer errores de tipo I (Rice, 1989).

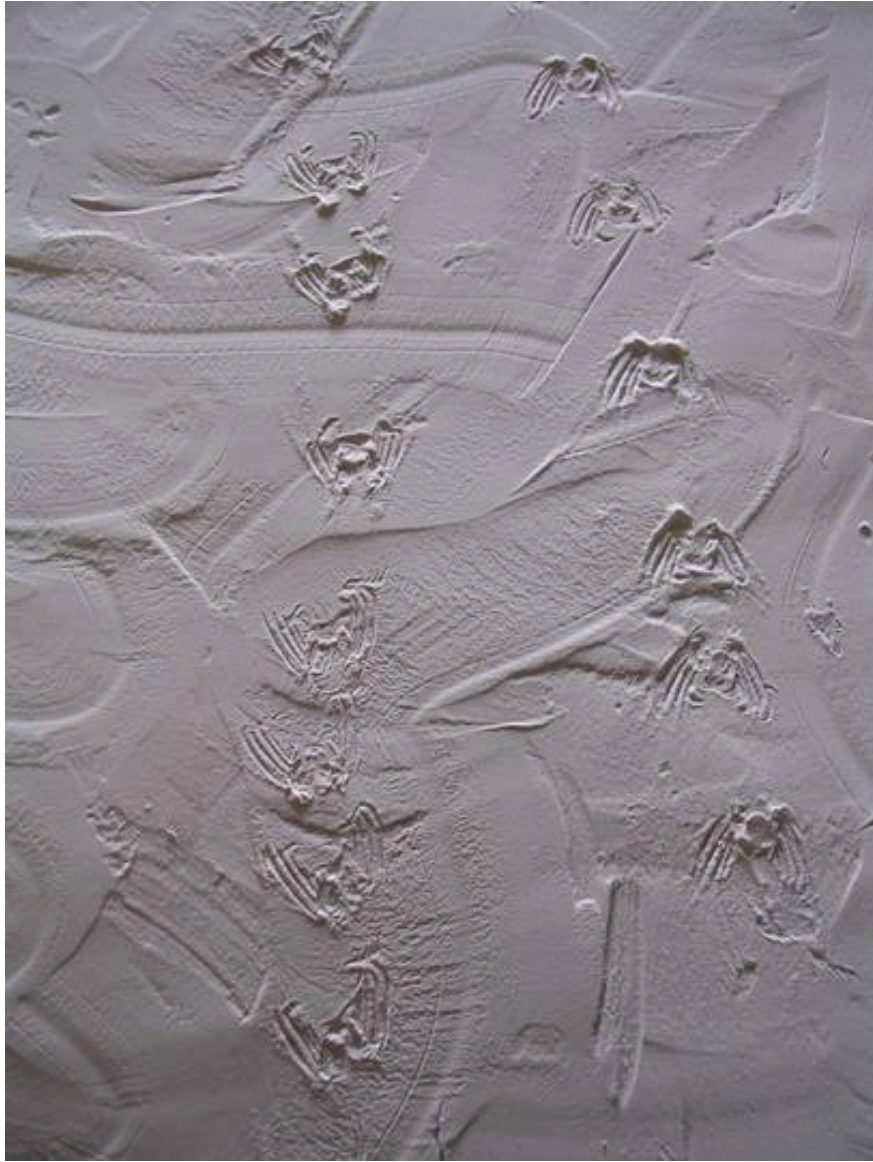
La comparación de índices de uso entre tipos de pasos para el conjunto de las especies detectadas, así como para cada una de ellas, se ha realizado mediante el test de Kruskal-Wallis. Pese a tratarse de datos que se ajustan a una distribución normal, el test de Levene muestra como éstos no cumplen una de las asunciones básicas, la homogeneidad de varianzas, para el uso del ANOVA (Siegel, 1990).

La riqueza específica registrada en cada uno de los tipos de paso también ha sido analizada mediante estadística no paramétrica, a través del test de Kruskal Wallis, con el fin de detectar posibles diferencias entre ellos.

Los patrones generales de uso de las estructuras por las especies se han analizado mediante escalados multidimensionales (MDS). Se trata de una técnica de análisis multivariante de exploración de datos, muy relacionada con la inducción de patrones extraídos de diseños observacionales, como es este caso (Hair *et al.*, 1999). El proceso de cálculo de este análisis persigue representar convenientemente el orden (magnitud de distancias) de las distancias observadas entre los objetos (los pasos de fauna y demás estructuras transversales a la vía) en un espacio de pocas dimensiones (Commandeur y Heiser, 1993). Para la ordenación de las observaciones (número de registros por paso en los 10 días) se ha utilizado la distancia euclídea como índice de similitud y el procedimiento estándar de ordenación del programa estadístico empleado (STATISTICA 6.0 ó SPSS 12.0). La elección final del número de dimensiones en las que representar el MDS, ha estado condicionada por el valor del parámetro de *stress*, escogiendo aquellas configuraciones con valores de stress por debajo de 0,1 (Kruskal, 1964).

Una vez realizada la ordenación, la existencia de tendencias de variación significativas entre las estructuras se ha analizado mediante técnicas paramétricas, concretamente MANCOVAs, aplicados a las coordenadas de cada paso obtenidas en los ejes del MDS. En estos análisis se ha incluido el tipo de paso como factor y las variables del entorno previamente presentadas como covariantes (ubicación, vegetación próxima, actividad humana y distancia a áreas urbanizadas). El objetivo final de esta prueba es el de comprobar si las tendencias generales de variación de uso de las estructuras se asocian a las variables estructurales (*tipo de paso*), de ubicación geográfica (pk), de vegetación de entorno o de humanización.

Por último, las especies más explicativas a la hora de interpretar las posiciones en las correspondientes dimensiones del MDS se han establecido mediante correlaciones de Spearman.



Capítulo 3.

Comparación de dos métodos de control para el seguimiento de la utilización de los pasos de fauna por los vertebrados

3.1. INTRODUCCIÓN

La elección del sistema de control, a la hora de realizar un seguimiento de estas características, se trata sin duda, de un elemento clave que determinará la fiabilidad de los resultados. Por ello, en este capítulo se analiza la efectividad de los dos sistemas de control empleados: registro de huellas mediante polvo de mármol y sistema fotográfico (apartado 2.4.), valorando así mismo, las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos.

La comparación de estos dos métodos de control persigue un doble objetivo, por un lado, contrastar la fiabilidad de los datos, y por otro, ofrecer algunas recomendaciones metodológicas para el seguimiento de los pasos de fauna. Dicha comparación permitirá evaluar su efectividad, entendida como la capacidad del método para detectar a las especies que hacen uso de los pasos.

En términos generales, se pretende comprobar si la efectividad en la detección mediante los dos sistemas difiere, con el único añadido de que el sistema fotográfico permite la identificación de algunas especies difícilmente distinguibles a través de sus huellas. Así mismo, se evalúa la posible existencia de un sesgo en la detección que pudiera estar asociado al tipo de paso controlado (pasos amplios vs. pasos estrechos) o al tamaño de la especie que utiliza la estructura (mejor detección de las especies de tamaño mediano y grande frente a las de menor tamaño), tanto en la impresión de las huellas como en la activación del sistema fotográfico, al existir la posibilidad de pasar por debajo de la barrera de infrarrojos.

Pese a tratarse de una evaluación *a posteriori* de los métodos de control, se ha considerado conveniente su presentación previa a los resultados obtenidos. De este modo, permite conocer el margen de incertidumbre y error de los resultados e incorporarlo a la discusión de los mismos.

3.2. MATERIAL Y MÉTODOS

3.2.1. Datos básicos

Se emplearon los datos correspondientes al seguimiento de la utilización por los vertebrados terrestres de todas aquellas estructuras que fueron controladas simultáneamente con un sistema fotográfico y una banda de marmolina para el registro de huellas. Se consideraron todas las campañas de control realizadas en las dos autovías objeto de estudio (A-52 y A-231; véase apartado 2.3.5.), seleccionando finalmente los resultados derivados de un total de 64 estructuras que suponían un total de 1.246 días-paso de control.

En todos los casos la disposición de la marmolina fue similar, y se utilizaron tres sistemas fotográficos distintos. La principal diferencia entre los sistemas fue el modelo de cámara digital empleada, que tenían todas ellas diferente velocidad de disparo. Así mismo, a lo largo de las diferentes campañas de muestreo los sensores que constituían la barrera de infrarrojos fueron modificados, con el fin de mejora el diseño inicial. Sucesivamente, se mejoró tanto el alcance de la emisión con nuevos leds de infrarrojos, de mayor potencia, como la calidad de la recepción al incorporar lentes en los receptores. Además, en el primer sistema se incluyó un sensor pasivo (P.I.R.) que no volvió a utilizarse en el resto. Todas estas diferencias hacían conveniente realizar la comparación entre ambos métodos distinguiendo al mismo tiempo el tipo de sistema fotográfico (Tabla 3.1).

Las dos primeras cámaras se utilizaron en el seguimiento de las estructuras transversales de la autovía A-52. La primera de ellas, empleada en la campaña de 2001 (septiembre-noviembre) fue el modelo ePhoto 780c de Agfa®, que presentaba una elevada rapidez de disparo (0,5 segundos) y una aceptable resolución de imagen (1024x768 píxeles). En las siguientes campañas de muestreo (junio-septiembre 2002 y enero-abril 2003), al quedar descatalogada la cámara anterior, se sustituyó por la cámara Sanyo® VPC R1 con mejor resolución de imagen (1280 x 960 píxeles) y una velocidad de disparo de 1 segundo. Por último, en la campaña de 2004 (junio-agosto) en la autovía A-231 se utilizó la cámara Fujifilm® Finepix A-202, de disparo más rápido que las anteriores (0,4 segundos) y mejor resolución de imagen (1600x1200 píxeles).

Tabla 3.1. Datos básicos de la comparación de métodos de control. Se muestra el número de estructuras controladas mediante registro de huellas y sistema fotográfico, distinguiendo tipos de cámara y de estructura. d= número de días-paso de control válidos para los dos sistemas.

	Campañas de seguimiento			
	A-52			A-231
	2001 (d=107)	2002 (d=518)	2003 (d=245)	2004 (d=376)
	AGFA 780c	SANYO VPC		FUJI A-202
Drenajes circulares	2	16	9	1
Drenajes adecuados	1	5	0	3
Pasos Inferiores Mixtos	3	10	7	2
Pasos Inferiores Específicos	1	6	5	5
Pasos Superiores Mixtos	3	8	4	0
Pasos Superiores Específicos	1	2	0	0
Total*	11	47	25	11

* Nótese que el número total de estructuras controladas con ambos métodos (64) no equivale a la suma de los totales parciales, dado que algunas estructuras fueron controladas de forma repetida en distintas campañas.

Los cambios de modelo de cámara estuvieron condicionados principalmente por el elevado número de hurtos que se producían a lo largo de cada temporada de muestreo. Al final de cada campaña (3-5 meses) se hacía imprescindible remplazar las pérdidas sufridas, y no siempre era posible encontrar el mismo modelo de cámara, debido a la rápida y constante evolución del mercado tecnológico actual, en el cual el tiempo medio en el mercado de este tipo de productos es muy breve.

Cabe señalar que, en la presentación de los resultados relativos a las especies, los diferentes listados de las mismas se organizan por orden creciente de tamaño tanto en las tablas como en las figuras. De este modo, si la efectividad de los sistemas mostraba cierto sesgo asociado al tamaño de las especies, éste sería visualmente más fácil de detectar.

3.2.2. Tratamiento de datos

La unidad básica de este análisis comparativo fue el número de días en los que se registraba la especie (o grupo faunístico) en un paso, independientemente del número de rastros hallados en la marmolina o el número de contactos fotográficos obtenidos en un mismo día. El número de rastros sobre la marmolina pese a poder ser individualizado es un valor escasamente representativo de la frecuencia de paso de individuos, dado que numerosas especies, sobre todo micromamíferos y perros mostraron cierto comportamiento errático sobre este sustrato. En ocasiones, varios rastros pertenecen a un mismo individuo que deambula sobre la banda de marmolina, según queda evidenciado a través del control fotográfico. Únicamente, mediante el registro fotográfico es posible contabilizar el número de fotografías relativas a un mismo contacto, al quedar registrada la hora exacta de cada una de ellas, pudiendo así individualizar registros/contactos.

La eficiencia temporal de los dos métodos de control (registro de huellas vs. sistema fotográfico), es decir, el tiempo real de correcto funcionamiento del sistema, se evaluó

distinguiendo los distintos sistemas fotográficos. Para ello, se estudió la proporción de días útiles del sistema respecto al total, el balance entre días válidos de control y días que por diversos motivos eran considerados nulos (calidad de las huellas, problemas técnicos en los equipos fotográficos, etc.). La efectividad de ambos métodos se analizó contrastando diariamente los resultados del seguimiento en función del sistema. Para hacer posible esta comparación se mantuvieron los grupos faunísticos establecidos para el registro de huellas (apartado 2.4.1.) en los contactos fotográficos, aunque la identificación de la especie fuera posible. Se contabilizaron las ocasiones en las que ambos sistemas funcionaron a la vez, aquéllas en las que sólo funcionó uno de ellos y se realizó una estimación del número de rastros/contactos que no fueron detectados por ninguno de los dos. De tal modo que cada día válido de control de cada especie quedaba incluido en una de las opciones A, B ó C de la tabla 3.2:

Tabla 3.2. Clasificación de los días válidos de control en función de la eficacia de los dos métodos.

		Registro de huellas	
		detecta	no detecta
Sistema fotográfico	detecta	A	B
	no detecta	C	D

En ella, **A** representaba el número de dobles detecciones, **B** el número de observaciones únicamente detectadas mediante el sistema fotográfico y **C** las detectadas mediante el registro de huellas en marmolina. El número de ocasiones en las que ambos sistemas fallaban en la detección de la especie, **D**, se estimó a partir de las probabilidades de acierto de cada uno de los sistemas, suponiendo la independencia de acierto entre métodos y siguiendo los siguientes pasos:

- (i) Primero se definió la probabilidad de que el registro de huellas fuera efectivo (p), donde **N** equivalía al total de cruces realizados por la especie a través de la estructura, siendo $N = A + B + C + D$, siendo por tanto p :

$$p = \frac{A + C}{N}$$

- (ii) Seguidamente, se estableció la probabilidad de acierto del sistema fotográfico (q):

$$q = \frac{A + B}{N}$$

- (iii) Por último, a partir del cálculo de la probabilidad de **A** como:

$$A = p \times q \times N$$

Basado en los cálculos anteriores se estimó el número de casos en que los dos sistemas de control pudieron fallar simultáneamente (**D**), que quedó definido mediante la siguiente fórmula:

$$D = \frac{C \times B}{A}$$

Una vez estimado el valor de D , se calculó la probabilidad de que cada uno de los métodos de control fuera efectivo en la detección de las especies que utilizaron cada uno de los 64 pasos controlados (p y q). Cabe señalar que, en aquellos casos en los que no se produjo un doble contacto ($A = 0$) no resultó posible estimar D por este procedimiento. Por este motivo, en todos ellos se consideró que el número de casos en los que ambos sistemas fallaban era cero. Esta asunción genera una ligera sobreestimación tanto de p como de q , pero en todo caso mínima, puesto que al excluir del análisis aquellos casos que no presentaban ningún doble contacto, se pudo comprobar que los resultados no cambiaban.

Las diferencias entre ambos sistemas según la especie y el tipo de cámara se analizaron mediante un ANOVA de medidas repetidas, introduciendo el factor tipo de paso y la efectividad con la que la especie fue detectada con uno y otro método como variable dependiente de medida repetida (p y q). El análisis fue ponderado por el número de cruces totales (N). Este análisis se aplicó pese al incumplimiento de la normalidad de p y q , dado que se trata de un análisis robusto a dicho incumplimiento. No obstante, únicamente pudo aplicarse a los datos de aquellas especies/grupos faunísticos que contaban con más de una observación por tipo de paso. De forma complementaria, se analizaron la totalidad de los casos mediante el test no paramétrico de Wilcoxon, igualmente ponderado por N .

Las diferencias entre los sistemas fotográficos en la detección de las distintas especies es el último aspecto que se analizó. Se realizaron comparaciones dos a dos mediante ANOVAs con el tipo de cámara anidado dentro de cada especie (del factor) y ponderados por el número de cruces totales (N). Para cada una de las especies con un número de detecciones suficientes se realizaron comparaciones planificadas de la detección en función del sistema fotográfico empleado. De este modo, se comprobaba si existían diferencias generales en la detección de las especies en función del sistema fotográfico y cuáles eran estas especies/grupos faunísticos en las que las diferencias se mostraban significativas.

3.3. RESULTADOS

3.3.1. Registro de huellas vs. sistema fotográfico

En los 1.246 días-paso de control considerados se produjeron 1.521 detecciones correspondientes a 22 especies/grupos faunísticos. Se obtuvieron un total de 10.287 fotografías, si bien el 42% de éstas fueron debidas a la actividad humana (personas a pie, ganado y vehículos).

La eficiencia temporal de ambos métodos en términos generales no presentó diferencias muy marcadas, los dos métodos contaron con días nulos que prolongaron los periodos de control. Para el conjunto de las campañas incluidas en este análisis, el total de días de control mediante el registro de huellas ascendió a 1.753 días-paso, de los cuales el 18% fueron considerados nulos. Las condiciones meteorológicas adversas, fundamentalmente

la lluvia y el fuerte viento, y en menor medida la actividad humana, tránsito de ganado y/o vehículos, fueron las principales causas que impidieron el correcto registro de las huellas en la marmolina (49% lluvia, 29% viento y 22% actividad humana). El control mediante sistemas fotográficos se llevó a cabo durante un total de 1.660 días-paso, de los que un 15% de los días tuvieron que ser anulados, principalmente por problemas técnicos asociados a la barrera de infrarrojos. En ambos métodos el número de días válidos fue superior al que finalmente se utilizó en el análisis (1430 días-paso para el registro de huellas y 1.417 días-paso para el sistema fotográfico), puesto que únicamente fueron incluidos aquellos días que resultaron válidos para ambos métodos simultáneamente (1.246 días-paso).

Del conjunto de detecciones relativas a fauna silvestre el 46,0 % fueron obtenidas simultáneamente por ambos métodos de control, el 50,2 % quedaron registradas únicamente mediante la marmolina y tan sólo el 3,8 % restante se obtuvieron a través del sistema fotográfico. La presencia de anfibios y reptiles fue detectada de forma claramente más efectiva mediante el registro de huellas en la marmolina. Para este conjunto de especies más del 70 % de las detecciones se produjeron a través del registro de huellas, mientras que la detección sólo a través del sistema fotográfico no superó el 2,5 % de éstas. Así mismo, aunque con diferencias no tan acusadas, la detección de cánidos y zorros fue más efectiva mediante el registro de huellas. Para ambas especies más del 55% de los cruces por las estructuras controladas quedaron reflejados únicamente en la marmolina, frente al 4,5 % y 7,2% respectivamente, de las detecciones que fueron registradas únicamente por el sistema fotográfico (Tabla 3.3).

Tabla 3.3. Comparación general de los dos métodos de control. Se muestra el número de observaciones para cada especie registradas por los dos métodos (**A**), únicamente por el sistema fotográfico (**B**) y aquéllas obtenidas sólo a través del registro de huellas en la marmolina (**C**).

Especie/Grupo faunístico	A	B	C
Anuros	22	1	55
Lacértidos	7	1	38
Ofidios	0	0	14
Micromamíferos	236	14	284
Lirón	2	0	0
Ratas	8	1	5
Ratas de agua	57	1	4
Topo	1	0	0
Ardilla	1	0	0
Erizo	14	1	8
Mustélidos pequeños	57	2	32
Turón	7	0	5
Mustélidos grandes	1	0	1
Gineta	7	0	4
Gatos	45	9	18
Lagomorfos	60	8	80
Tejón	45	0	13
Zorro	54	11	87
Cánidos	64	8	106
Jabalí	0	0	3
Corzo	4	0	1
Ciervo	8	1	2

A continuación se presentan los resultados de la comparación de métodos en función del tipo de cámara.

3.3.1.1. Primer modelo: cámara digital Agfa® ePhoto 780c

En los once pasos controlados simultáneamente con los dos métodos durante un total de 107 días-paso se obtuvieron 128 detecciones correspondientes a un total de 10 especies/grupos faunísticos (Tabla 3.4). El 28,8% de los cruces de vertebrados terrestres por las estructuras controladas fueron detectados por los dos sistemas, un 50,5% sólo a través del registro de huellas y un 13% mediante el sistema fotográfico. El número de posibles cruces que pasaron desapercibidos a los dos sistemas de control se estimó en un 7,7% ($D=10,67$).

La eficiencia temporal de ambos métodos fue muy similar. Del total de días de control 33 días resultaron anulados para el registro de huellas y 45 días para el control fotográfico. La lluvia y en menor medida el fuerte viento provocaron el 95% de los días de seguimiento considerados no válidos para el control mediante marmolina. El sistema fotográfico, por su parte, estuvo condicionado en esta primera fase por la excesiva sensibilidad del sensor pasivo o P.I.R. (ver apartado 2.4.2.1.) y el desajuste de la barrera de infrarrojos, produciendo numerosos fallos y determinando el 92% de los días nulos para este sistema. No obstante, cabe destacar que tan sólo en un 7% de los días que fueron anulados fallaron los dos sistemas a la vez, en el resto de los casos uno u otro funcionó satisfactoriamente.

En líneas generales, las diferencias entre tipos de pasos en la eficiencia de los periodos de control de cada sistema no fueron muy marcadas. Cabe destacar únicamente el caso del único paso inferior específico, en el cual el porcentaje de días nulos para el sistema fotográfico fue 2,5 veces el correspondiente al registro de huellas (Figura 3.1). En este tipo de pasos, debido a su amplitud y las irregularidades del terreno, era frecuente que la barrera de infrarrojos fallara y consecuentemente se invalidara el día de control.

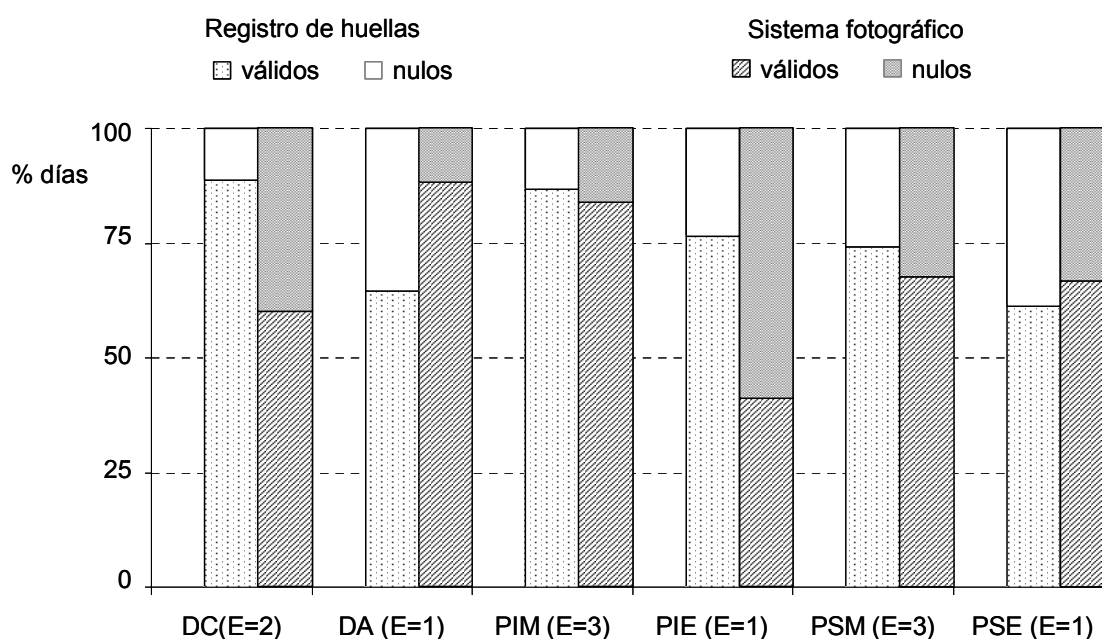


Figura 3.1. Eficiencia temporal de los sistemas de control (registro de huellas y sistema fotográfico). Se representa el porcentaje de días de control válidos y nulos para cada tipo de paso. También se muestra el número de estructuras controladas de cada tipo (E): DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto, PSE: paso superior específico.

La probabilidad de que el método de control fuera efectivo, detectando el cruce de los vertebrados terrestres por cualquiera de las estructuras sujetas a seguimiento, se calculó para cada uno de los once pasos y para cada una de las especies detectadas. De este modo, se obtuvieron un total de 37 valores de probabilidad para el registro de huellas mediante marmolina (p) e igualmente para el sistema fotográfico (q). La efectividad del registro de huellas como método de control fue muy alta, en un 73% de los casos el valor de p superó el 0,7 y sólo en un 10% p resultó inferior a 0,5. Por el contrario, la efectividad de este primer sistema fotográfico fue considerablemente más baja: sólo en un 32% de los casos la probabilidad de acierto en la detección de las especies (q) fue superior al 0,7 y hasta en un 54% de los casos q estuvo por debajo del 0,5.

La efectividad de los dos métodos de control resultó significativamente distinta (test de Wilcoxon ponderado por N , $z = 11,76$; g.l. 1; $p < 0,001$). El registro de huellas fue sensiblemente más efectivo que el control fotográfico para la mayoría de las especies, salvo en la detección de ciervos y gatos, para la que ambos sistemas resultaron igual de eficaces (Figura 3.2).

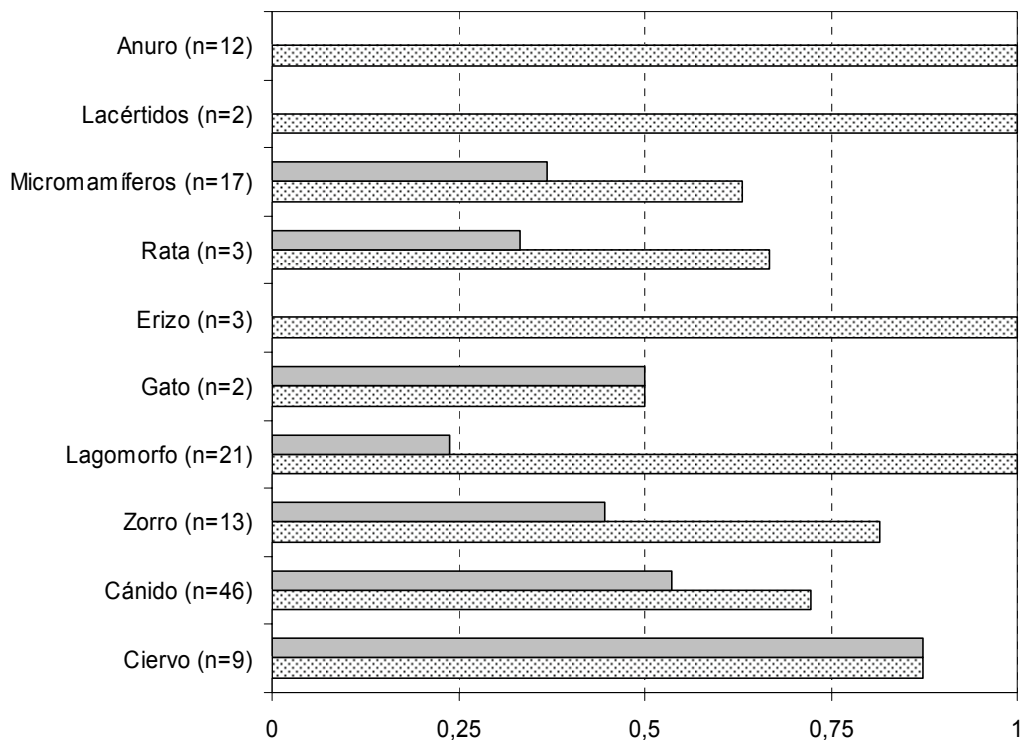


Figura 3.2. Comparación de la efectividad de los métodos de control: registro de huellas vs. sistema fotográfico (cámara modelo *Agfa® ePhoto 780c*). En el eje de abscisas se muestran los valores promedio ponderados por *N* de la probabilidad de que el registro de huellas sea efectivo (*p*: trama punteada) y también los correspondientes al sistema fotográfico (*q*: trama gris) para cada especie/grupo faunístico, siendo *n* el número total de detecciones.

Entre los distintos tipos de estructuras también se mantuvieron las diferencias, siendo más efectivo el registro de huellas en todos ellos, a excepción de los drenajes circulares, en los que el sistema fotográfico resultó más efectivo que la marmolina (Tabla 3.4).

Tabla 3.4. Efectividad de cada uno de los sistemas de control por tipo de paso y según especie/grupo faunístico. Se muestran los valores promedio ponderados por el número total de cruces (*N*) de la probabilidad de que el sistema fuera efectivo: *p* para registro de huellas mediante marmolina y *q* para el sistema fotográfico. También se indican el número de detecciones totales (*n*) y de estructuras controladas (*E*). DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto y PSE: paso superior específico.

	DC (E=2)			DA (E=1)			PIM (E=3)			PIE (E=1)			PSM (E=3)			PSE (E=1)		
	n	p	q	n	p	q	n	p	q	n	p	q	n	p	q	n	p	q
Anuro	-	-	-	1	1	0	10	1	0	-	-	-	1	1	0	-	-	-
Lacértidos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	0	-	-	-
Micromamíferos	-	-	-	1	1	0	5	1	0,2	3	1	0	8	0,3	0,6	-	-	-
Rata	-	-	-	-	-	-	2	0,5	0,5	-	-	-	1	1	0	-	-	-
Erizo	-	-	-	-	-	-	3	1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gato	1	0	1	-	-	-	1	1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lagomorfo	1	1	1	-	-	-	9	1	0,1	5	1	0,6	-	-	-	6	1	0
Zorro	-	-	-	1	0	1	-	-	-	7	0,8	0,7	1	1	0	4	1	0
Cánido	2	0,5	1	-	-	-	24	0,7	0,5	7	0,7	0,3	9	0,8	1	4	1	0
Ciervo	-	-	-	-	-	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	8	0,9	0,9

Del total de especies registradas únicamente para dos de ellas, micromamíferos y cánidos, fue posible realizar un análisis más detallado por tipo de paso, debido al limitado número de observaciones en el resto. En ambos casos sólo pudo compararse la efectividad de los dos métodos en dos tipos de estructuras, pasos inferiores mixtos y pasos superiores mixtos, por tratarse de los únicos tipos con registros de estas especies en más de una estructura.

Las detecciones del grupo de micromamíferos fueron significativamente diferentes entre los dos métodos de control (ANOVA; $F_{1,13} = 34,21$; $p < 0,001$), siendo más efectivo el registro de huellas (figura 3.2). Así mismo, se observaron diferencias entre métodos en los dos tipos de estructuras considerados (ANOVA; $F_{1,13} = 165,61$; $p < 0,001$), resultando más efectivo el registro de huellas en los pasos inferiores mixtos, mientras que el sistema fotográfico lo fue en los pasos superiores mixtos.

La detección de cánidos no fue significativamente distinta entre ambos métodos ($F_{1,37} = 0,07$; $p = 0,79$). En cambio, sí se observaron diferencias significativas al analizar la interacción tipo de paso y sistema de control ($F_{1,37} = 25,6$; $p < 0,001$), mostrándose el registro de huellas en los pasos inferiores mixtos más efectivo, mientras que el sistema fotográfico lo fue en los pasos superiores mixtos.

3.3.1.2. Segundo modelo: cámara digital Sanyo® VPC R1

Del conjunto de pasos controlados e incluidos en este análisis, en el 68,1% de ellos se empleó este segundo sistema fotográfico. Como resultado del doble control de un total de 47 estructuras se obtuvieron 883 detecciones relativas a la fauna, correspondientes a 19 especies/grupos faunísticos distintos (Tabla 3.5). En el 40% de las ocasiones en las que los vertebrados cruzaron por alguno de estos pasos fue detectado por ambos sistemas simultáneamente, el 53,7% de las detecciones quedaron registradas solamente en la marmolina, mientras que un 3,5% de los cruces fueron detectados por el sistema fotográfico únicamente. Así mismo, se estimó en un 2,8% el número de posibles cruces de fauna silvestre que no fueron detectados por ninguno de los dos métodos ($D=25,1$).

La comparación de ambos sistemas de control se basó en datos derivados de un total de 763 días-paso de control válidos para ambos sistemas. No obstante, para cada uno de los dos sistemas el periodo de control fue mayor debido al número de días que por diversos motivos fueron considerados nulos, suponiendo hasta un 7,5% del total de días para el registro de huellas y un 11,4% para el sistema fotográfico. Cabe destacar que el porcentaje de días nulos resultó variable no sólo entre sistemas, sino también entre los distintos tipos de estructuras controladas (Figura 3.3).

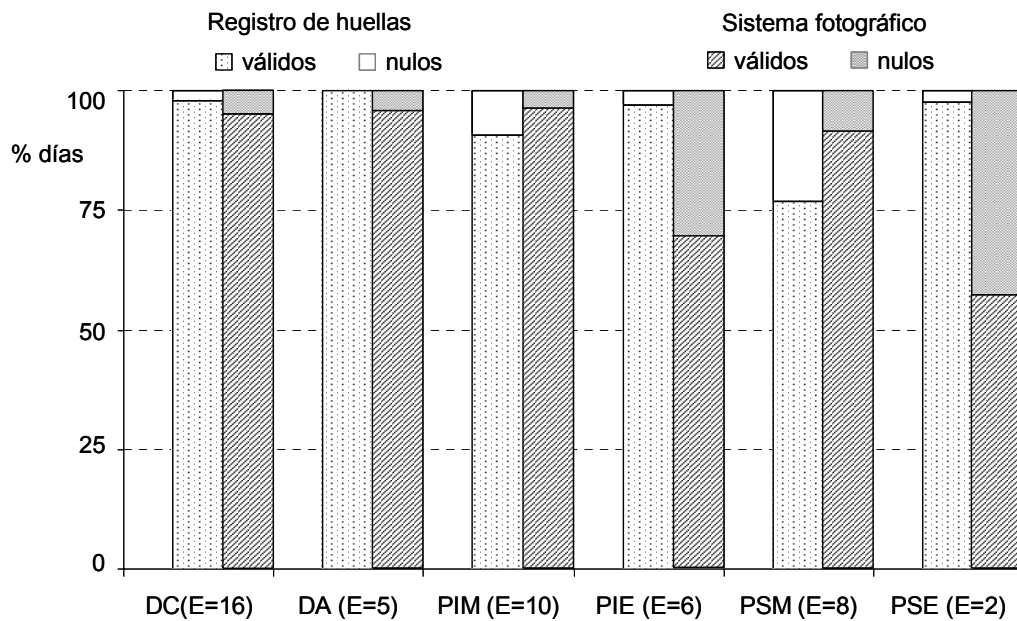


Figura 3.3. Eficiencia temporal de los dos sistemas de control. Se representa el porcentaje de días de control válidos y nulos para cada tipo de paso. También se muestra el número de estructuras controladas de cada tipo (E): DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto, PSE: paso superior específico.

El número de días que fueron considerados no válidos para el registro de huellas en los dos tipos de drenajes y los pasos específicos estuvo por debajo del 3%. Sin embargo, en los pasos inferiores y superiores de tipo mixto el número de días nulos fue mucho mayor, llegando a suponer un 9% del total de días de control en los primeros y hasta un 23% en los últimos. Las principales causas de este incremento de días nulos fueron, por un lado, climatológicas y por otro lado, derivadas de la actividad ganadera. La lluvia y en menor medida el fuerte viento impidieron una impresión adecuada de las huellas invalidando en los pasos superiores mixtos un total de 29 días de control. Los movimientos de rebaños de ovino a través de estos pasos también invalidaron 35 días de control en ambos tipos de pasos. El solapamiento de rastros en la banda de marmolina como resultado del tránsito de las ovejas, impedía ver los registros previos a su paso y al mismo tiempo, reducía la calidad de los posibles registros posteriores, obligando en definitiva, a anular el día de control (fotografías 3.1. y 3.2.).



Fotografías 3.1 y 3.2. En ocasiones el viento puede llegar a ser un factor limitante para el correcto registro de las huellas, especialmente en los pasos superiores (izquierda). El tránsito de ganado también impide el registro de huellas debido al solapamiento de rastros (derecha).

Los días que no resultaron válidos para el control mediante el sistema fotográfico supusieron entre un 5 % y un 12% del periodo de control total para la mayoría de los pasos, a excepción de aquellos de diseño específico para la fauna (Figura 3.3). En estos últimos la eficiencia del sistema decayó notoriamente, llegando el número de días nulos a suponer más del 35% del periodo de control. Una vez más, como sucedió con el primer modelo, la irregularidad del terreno y la amplitud del paso propiciaron fallos en la alineación de la barrera de infrarrojos, impidiendo el correcto funcionamiento del sistema en un elevado número de ocasiones.

De nuevo destacar el bajo número de días en los que el control resultó no válido para ambos sistemas al mismo tiempo, el cual no superó el 3,5% del total de los días considerados nulos.

Una vez evaluada la eficiencia de ambos métodos se procedió a examinar su efectividad en la detección de las especies que cruzaron por las diferentes estructuras sujetas a seguimiento. Se calculó la probabilidad de que cada uno de los sistemas fuera efectivo en cada uno de los 47 pasos y para cada una de las especies detectadas. Se obtuvieron un total de 224 valores de probabilidad para el registro de huellas (p) y del mismo modo, para el sistema fotográfico (q). En los distintos tipos de pasos, el registro de huellas obtuvo probabilidades similares para todas las especies con valores de p por encima de 0,7 en el 95% de los casos, mientras que sólo un 1,3% de los casos presentaron un valor de p por debajo de 0,5. El sistema fotográfico sin embargo, mostró una efectividad más variable y en líneas generales menor que para el registro de huellas. Sólo en un 17% de los casos el valor de q fue mayor de 0,7 y en un 55,4% la probabilidad de un registro efectivo (q) resultó inferior a 0,5.

La efectividad de los dos métodos de control resultó significativamente distinta (test de Wilcoxon ponderado por N , $z = 22,82$; g.l. 1; $p < 0,001$). El registro de huellas se mostró más efectivo que el control fotográfico para la mayoría de las especies, con una probabilidad media de resultados efectivos próxima a 1 para el 89% de las especies. Solamente en la detección de los mustélidos pequeños y los gatos la efectividad del

registro de huellas fue menor, si bien la probabilidad media continuó siendo alta y no descendió de 0,7 (Figura 3.4).

La efectividad del sistema fotográfico varió mucho entre especies y, al menos aparentemente, no apareció asociado al tamaño de las mismas, presentando una baja probabilidad de acierto en el registro tanto en especies de tamaño medio y grande (ej. lagomorfos $q = 0,48$ ó cánidos $q = 0,34$) como en algunas de tamaño pequeño (ej. micromamíferos $q = 0,4$ ó anuros $q = 0,25$; Figura 3.4). El sistema fotográfico mostró una efectividad equivalente a la marmolina a la hora de evidenciar el paso de ardillas y gatos por las estructuras controladas. Así mismo, los resultados procedentes del tránsito de tejones y ratas de agua tampoco distaron mucho entre métodos.

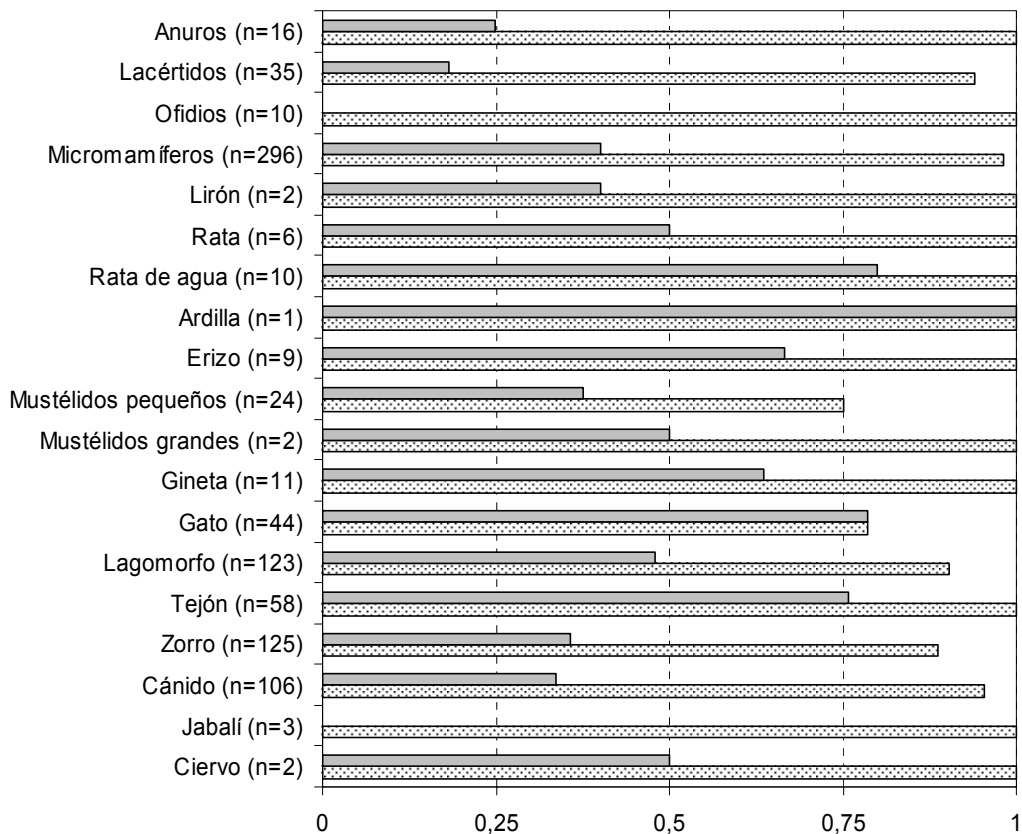


Figura 3.4. Comparación de la efectividad de los métodos de control: registro de huellas vs. sistema fotográfico (cámara modelo *Sanyo® VPC R1*). En el eje de abscisas se muestran los valores promedio ponderados por N de la probabilidad de que el registro de huellas sea efectivo (p : trama punteada) y también los correspondientes al sistema fotográfico (q : trama gris) para cada especie/grupo faunístico, siendo n el número total de detecciones.

En lo que respecta a la efectividad mostrada por ambos métodos en los distintos tipos de pasos, la tendencia general se mantiene y el registro de huellas aparece como el método más efectivo para la detección de la mayoría de las especies en todos los tipos. Destacar que en los drenajes circulares ambos métodos resultaron igual de efectivos en la detección de ratas y erizos. Del mismo modo, en los drenajes adecuados se mostraron igual de efectivos en la detección de rata de agua, ardilla, tejón y cánidos (mayoritariamente perros). Además, señalar que el gato, en su mayoría ejemplares

domésticos, fue el único grupo específico detectado con mayor eficacia por el sistema fotográfico en los pasos superiores mixtos y con igual efectividad por ambos métodos en los pasos inferiores mixtos y específicos (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Efectividad de cada uno de los sistemas de control por tipo de paso y según especie/grupo faunístico. Se muestran los valores promedio ponderados por el número total de cruces (N) de la probabilidad de que el sistema fuera efectivo: p para registro de huellas mediante marmolina y q para el sistema fotográfico. También se indican el número de detecciones totales (n) y de estructuras controladas (E). DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto y PSE: paso superior específico.

	DC (E=16)			DA (E=5)			PIM (E=10)			PIE (E=6)			PSM (E=8)			PSE (E=2)		
	n	p	q	n	p	q	n	p	q	n	p	q	n	p	q	n	p	q
Anuros	4	1	0,3	6	0,7	0,2	4	1	0,3	2	1	0	-			-		
Lacértidos	20	0,9	0,3	6	1	0	2	1	0	6	1	0	1	1	0			
Ofidios	4	1	0	1	1	0	5	1	0	-			-			-		
Micromamíferos	161	1	0,6	23	0,9	0,5	28	1	0,2	32	1	0,1	50	1	0	2	1	0
Lirón	2	1	0	-			-			-			-			-		
Rata	1	1	1	-			3	1	0,7	1	1	0	-			1	1	0
Ratas de agua	6	1	0,7	4	1	1	-			-			-			-		
Ardilla	-			1	1	1	-			-			-			-		
Erizo	2	1	1	-			4	1	0,5	3	1	0,7	-			-		
Mustélidos pequeños	21	0,7	0,4	2	1	0,5	1	1	0	-			-			-		
Mustélidos grandes	-			-			2	1	0,5	-			-			-		
Gineta	3	1	0,7	-			-			8	1	0,6	-			-		
Gato	8	1	0,8	7	0,8	0,7	11	0,6	0,6	5	1	1	13	0,7	0,9	-		
Lagomorfos	4	1	0,3	-			56	0,9	0,5	29	0,9	0,7	26	1	0,3	8	1	0,5
Tejón	5	1	0,8	4	1	1	28	1	0,8	21	1	0,7	-			-		
Zorro	17	0,9	0,6	4	1	0,3	44	1	0,3	45	0,8	0,4	12	0,9	0,1	3	1	0
Cánido	15	1	0,2	2	1	1	36	1	0,4	27	0,8	0,4	20	1	0,2	6	1	0,3
Jabalí	-			-			-			2	1	0	1	1	0	-		
Ciervo	-			-			2	1	0,5	-			-			-		

De las 19 especies/grupos faunísticos detectados haciendo uso de alguna de las estructuras controladas, sólo 6 de ellas contaron con un número suficiente de observaciones que permitieran un análisis más exhaustivo. Mediante dicho análisis se evaluaron las diferencias entre métodos, pudiendo distinguir a su vez por tipo de paso (Tabla 3.6).

Este análisis más detallado mostró cómo la detección de lacértidos y mustélidos pequeños fue significativamente diferente en función del método empleado, resultando más efectivo el registro de huellas, independientemente del tipo de paso (Tabla 3.6). Así

mismo, micromamíferos, lagomorfos, zorros y cánidos fueron detectados de forma significativamente diferente en función del método de control. Además, al analizar la interacción entre tipo de paso y métodos de control, todos ellos presentaron diferencias (Tabla 3.6). En general, el registro de huellas fue más efectivo, con marcadas diferencias en los pasos más amplios de tipo mixto y específico. Sólo en los drenajes las diferencias no fueron tan acentuadas (Tabla 3.5).

En la detección de gatos, sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre sistemas, si bien se apreciaron diferencias en función del tipo de paso (Tabla 3.6). En los pasos superiores mixtos resultó más efectivo el sistema fotográfico, mientras que en los dos tipos de drenajes lo fue el registro de huellas mediante marmolina.

Tabla 3.6. Resultado de los ANOVAs de medidas repetidas ponderados por el número de cruces de vertebrados terrestres (**N**) destinados a determinar las diferencias entre los dos sistemas de control en la detección de algunas especies y teniendo en cuenta los distintos tipos de pasos. Se muestran los tipos comparados para cada una de las especies en función de la disponibilidad de datos (*). DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto y PSE: paso superior específico.

Especie	Factor	DC	DA	PIM	PIE	PSM	PSE	F	g.l.1	g.l.2	p
Lacértidos	Sistema							99,01	1	28	<0,001
	Sistema - Tipo	*	*	*	*			2,76	3	28	0,060
Micromamíferos	Sistema							1294,11	1	290	<0,001
	Sistema - Tipo	*	*	*	*	*		70,36	4	290	<0,001
Mustélidos pequeños	Sistema							22,77	1	26	<0,001
	Sistema - Tipo	*	*					0,75	1	26	0,393
Gato	Sistema							0,52	1	41	0,473
	Sistema - Tipo	*	*	*	*	*		4,72	4	41	0,003
Lagomorfo	Sistema							95,56	1	115	<0,001
	Sistema - Tipo	*		*	*	*		7,56	3	115	<0,001
Zorro	Sistema							216,48	1	122	<0,001
	Sistema - Tipo			*	*	*	*	13,77	3	122	<0,001
Cánido	Sistema							247,05	1	104	<0,001
	Sistema - Tipo	*	*	*	*	*	*	13,30	5	104	<0,001

3.3.1.3. Tercer modelo: cámara digital Fujifilm® Finepix A-202

La comparación del método de registro de huellas y este último sistema fotográfico, al igual que la realizada con el primer modelo de cámara, se basó en el seguimiento de una pequeña muestra de tan sólo 11 pasos. Sin embargo, y a diferencia de esta primera comparación, el periodo de control fue más prolongado (3,5 veces respecto al primero), dotando de una mayor solidez a dicha comparación.

Se registraron 507 evidencias de paso relativas a vertebrados terrestres, correspondientes a un total de 15 especies/grupos faunísticos. El 58,6% de estos cruces fueron detectados por ambos sistemas de control, el 39,5% sólo quedaron reflejados a través de la impresión de las huellas en la marmolina, mientras que el 1,57% de los cruces quedaron registrados exclusivamente por el sistema fotográfico. Del número total de posibles cruces, se estimó que un 0,77% no fueron detectados por ninguno de los dos métodos ($D= 3,93$).

El número de días válidos de control simultáneo mediante ambos sistemas fue de 376 días-paso. En esta ocasión, el registro de huellas contó con un mayor número de días nulos respecto al sistema fotográfico, llegando a suponer el 36,2% del total de días de seguimiento frente al 15,7% que constituyeron los días anulados sobre el total en el control fotográfico. Estas diferencias, especialmente marcadas en drenajes circulares y pasos inferiores mixtos, se debieron a la acción de agentes climáticos (lluvia y viento) y al frecuente tránsito de vehículos, que impidieron la correcta impresión de las huellas en la banda de marmolina (Figura 3.5). Así mismo, cabe destacar que el 18,4% de los días nulos lo fueron simultáneamente para los dos sistemas de control, una elevada cifra respecto a las comparaciones previas.

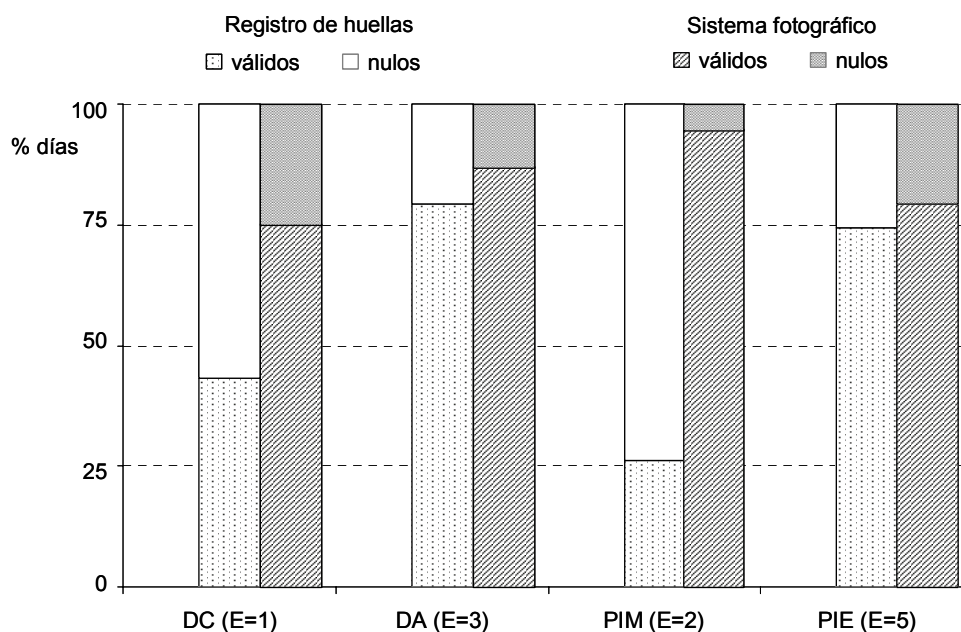


Figura 3.5. Eficiencia temporal de los sistemas de control (registro de huellas y sistema fotográfico). Se representa el porcentaje de días de control válidos y nulos para cada tipo de paso. También se muestra el número de estructuras controladas de cada tipo (E): DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico

Para el cálculo de la efectividad, se obtuvieron 71 valores de probabilidad de que el registro huellas fuera efectivo (p), e igualmente para el sistema fotográfico (q). El registro de huellas fue muy efectivo en la detección de todas las especies y en todos los tipos de pasos, prueba de ello fue que en el 94,3% de los casos el valor de p fue superior a 0,9. En cambio, la efectividad del sistema fotográfico resultó más variable: sólo en el 40,8%

de los casos la probabilidad de que el método resultara efectivo fue alta ($q > 0,7$), mientras que en un 45% la probabilidad de acierto era bastante reducida ($q < 0,5$).

La efectividad de ambos sistemas de control resultó significativamente diferente a la hora de detectar el paso de un animal cruzando por una estructura (test de Wilcoxon ponderado por N , $z = 17,9$; $p < 0,001$). En general, el registro de huellas fue más efectivo que el control fotográfico, si bien, hubo especies para las que las diferencias no resultaron tan evidentes. Ambos métodos presentaron una efectividad equivalente en la detección de especies como la rata y el topo. De igual modo, en la detección de ratas de agua, erizos, zorros y corzos, los dos métodos presentaron una efectividad similar con pequeñas diferencias a favor del registro de huellas (Figura 3.6).

Una vez más, la efectividad media del sistema fotográfico en la detección de anfibios y reptiles fue muy baja ($q < 0,4$). También resulta llamativa la escasa efectividad mostrada en la detección del grupo cánidos en el que se engloban los registros de perros y lobos ($q = 0,23$).

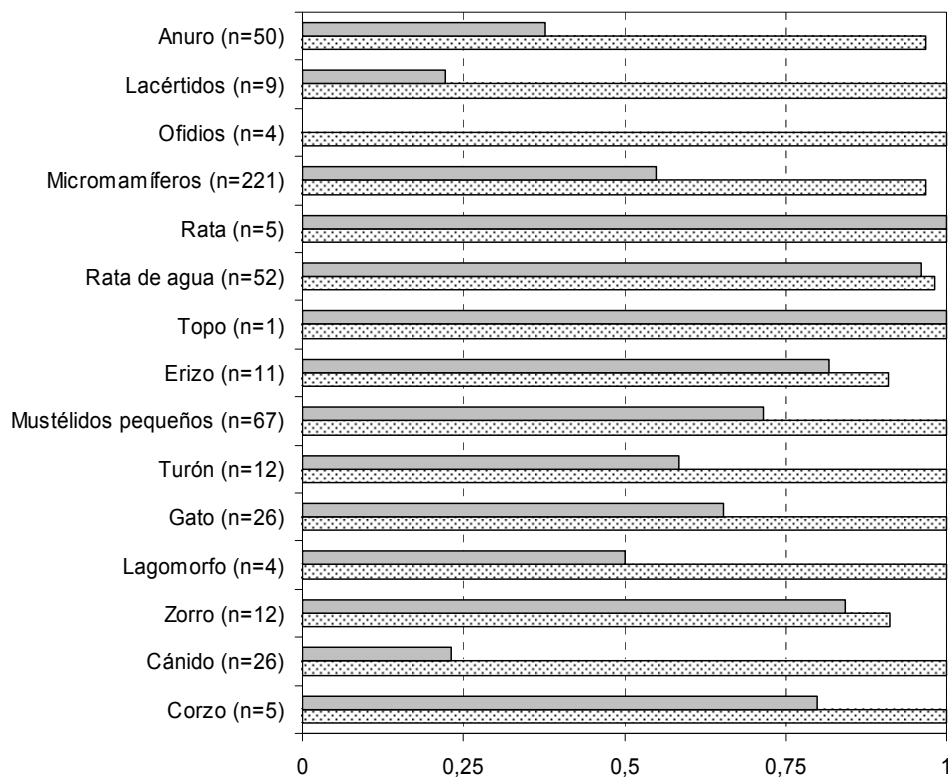


Figura 3.6. Comparación de la efectividad de los métodos de control: registro de huellas vs. sistema fotográfico (cámara modelo *Fujifilm® Finepix A-202*). En el eje de abscisas se muestran los valores promedio ponderados por N de la probabilidad de que el registro de huellas sea efectivo (p : trama punteada) y también los correspondientes al sistema fotográfico (q : trama gris) para cada especie/grupo faunístico, siendo n el número total de detecciones.

En los distintos tipos de estructuras controladas las diferencias entre métodos se mantuvieron, mostrándose más eficaz el registro de huellas en todos ellos. No obstante, las diferencias entre métodos en la detección de la mayoría de las especies no fueron muy pronunciadas, salvo en los pasos inferiores mixtos (Tabla 3.7). Cabe destacar que

en los drenajes adecuados ambos métodos resultaron igual de eficaces en la detección de ratas, ratas de agua, erizos, gatos, lagomorfos y zorros.

Tabla 3.7. Efectividad de cada uno de los sistemas de control por tipo de paso y según especie/grupo faunístico. Se muestran los valores promedio ponderados por el número total de cruces (**N**) de la probabilidad de que el sistema fuera efectivo: *p* para registro de huellas mediante marmolina y *q* para el sistema fotográfico. También se indican el número de detecciones totales (*n*) y de estructuras controladas (*E*). DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto y PSE: paso superior específico.

	DC (E=1)			DA (E=3)			PIM (E=2)			PIE (E=5)		
	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>q</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>q</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>q</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>q</i>
Anuros	1	1	1	42	0,96	0,42	-	-	-	7	1	0,14
Lacértidos	-	-	-	7	1	0,29	1	1	0	1	1	0
Ofidios	-	-	-	3	1	0	-	-	-	1	1	0
Micromamíferos	10	1	0,8	73	1	0,79	17	1	0	121	0,94	0,46
Rata	-	-	-	4	1	1	-	-	-	1	1	1
Ratas de agua	-	-	-	35	1	1	-	-	-	17	0,94	0,88
Topo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1
Erizo	-	-	-	4	1	1	1	1	0	6	1	0,83
Mustélidos pequeños	1	1	0	32	1	0,84	-	-	-	34	1	0,62
Turón	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	1	0,58
Gato	-	-	-	4	1	1	11	1	0,36	11	1	0,82
Lagomorfos	-	-	-	1	1	1	-	-	-	3	1	0,33
Zorro	-	-	-	6	0,8	0,8	1	1	1	7	1	0,86
Cánido	-	-	-	3	1	0,33	18	1	0,22	5	1	0,2
Corzo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	0,8

Se realizó un análisis más detallado de la efectividad de los métodos de control por tipo de paso únicamente en tres especies/grupos faunísticos: anuros, micromamíferos y ratas de agua. En la detección de ratas de agua no hubo diferencias significativas entre los dos sistemas de control, siendo ambos métodos altamente efectivos independientemente del tipo de paso controlado (Tabla 3.8). Por el contrario, en la detección de anuros y micromamíferos sí se produjeron diferencias entre los dos sistemas y, al mismo tiempo, entre tipos de paso (Tabla 3.8). La efectividad de los dos métodos en la detección de anuros fue similar en los drenajes circulares, mientras que en el resto de estructuras por las que cruzaron estos anfibios, la detección a través del registro de huellas resultó más eficaz (Tabla 3.7). Aquellos micromamíferos que hicieron uso de los dos tipos de drenajes fueron detectados por ambos métodos sin grandes diferencias. Sin embargo, los que cruzaron por los pasos amplios (pasos inferiores mixtos y específicos) fueron en su mayoría detectados únicamente mediante el registro de huellas (Tabla 3.7).

Tabla 3.8. Resultado de los ANOVAs de medidas repetidas ponderados por el número de cruces de vertebrados terrestres (**N**) destinados a determinar las diferencias entre los dos sistemas de control en la detección de algunas especies y teniendo en cuenta los distintos tipos de pasos. Se muestran los tipos comparados para cada una de las especies en función de la disponibilidad de datos. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto y PIE: paso inferior específico.

Especie	Factor	DC	DA	PIM	PIE	F	g.l.1	g.l.2	p
Anuros	Sistema					257,15	1	48	<0,001
	Sistema-Tipo		*		*	13,51	1	48	<0,001
Micromamíferos	Sistema					825,87	1	211	<0,001
	Sistema-Tipo		*	*	*	111,50	2	211	<0,001
Rata de agua	Sistema					1,64	1	50	0,206
	Sistema-Tipo		*		*	1,64	1	50	0,206

3.3.2. Comparación de los sistemas fotográficos

Una vez caracterizadas las diferencias existentes entre los dos métodos de control empleados, se examinaron las diferencias derivadas de las variaciones introducidas en el sistema fotográfico. Para ello, se contrastó la efectividad de cada sistema respecto al sistema por el cual fue remplazado, manteniendo el orden en el que fueron utilizados.

3.3.2.1. Primer modelo (Agfa® ePhoto 780c) vs. Segundo modelo (Sanyo® VPC R1)

Se comparó la efectividad de los dos primeros sistemas fotográficos utilizados en las primeras fases de la investigación. Para ello, se consideraron únicamente las especies detectadas por ambos sistemas, un total de 10 especie/grupos faunísticos (Tabla 3.9).

Los sistemas presentaron diferencias significativas en la detección de las especies consideradas (ANOVA anidado por el tipo de cámara dentro de cada especie y ponderado por **N**; $F_{10, 898} = 4,80$; $p < 0,001$). La presencia de anuros, erizos, lagomorfos y cánidos fue detectada de forma significativamente diferente por ambos sistemas (Tabla 3.9). Salvo para el grupo de cánidos, el segundo modelo resultó más efectivo (Figura 3.7).

Tabla 3.9. Resultado de las comparaciones planificadas del ANOVA anidado por el tipo de cámara dentro de cada especie y ponderado por el número de cruces de vertebrados terrestres (**N**).

Agfa vs. Sanyo	$F_{1, 898}$	p
Anuros	4,49	0,034
Lacértidos	0,65	0,419
Micromamíferos	0,18	0,674
Rata	0,58	0,445
Erizo	10,50	0,001
Lagomorfos	10,99	0,001
Gato	1,63	0,202
Zorro	1,25	0,265
Cánidos	15,31	<0,001
Ciervo	2,39	0,123

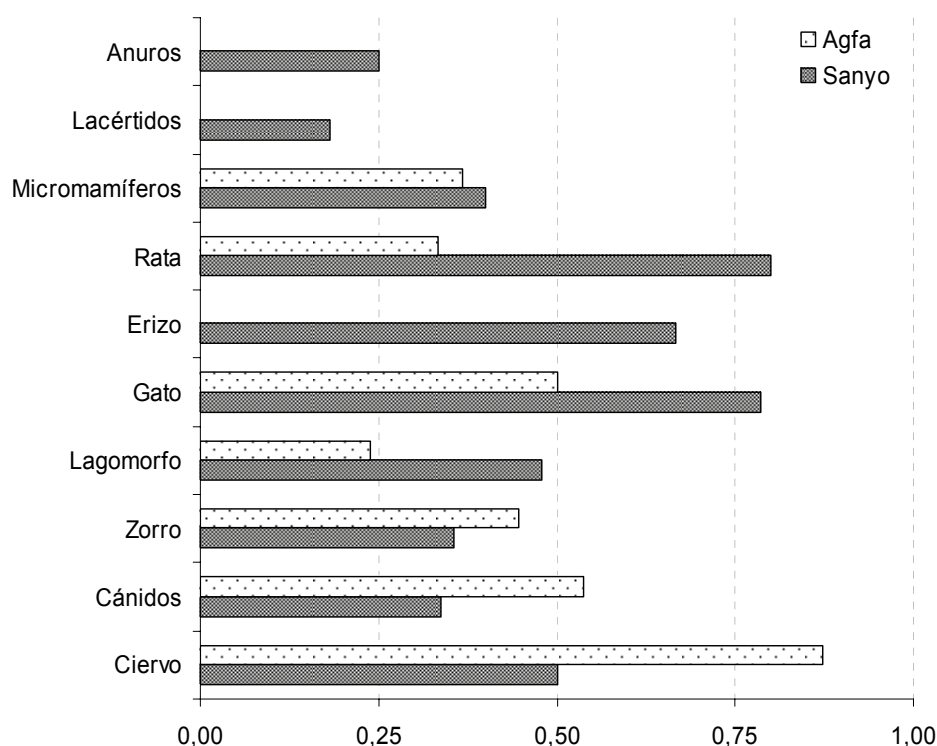


Figura 3.7. Comparación de la efectividad de los dos primeros sistemas fotográficos: Agfa vs. Sanyo. En el eje de abscisas se muestran los valores de probabilidad de que el sistema fuera efectivo (q) para aquellas especies detectadas en ambos periodos de control.

3.3.2.2. Segundo modelo (Sanyo® VPC R1) vs. Tercer modelo (Fujifilm® Finepix A-202)

La efectividad del segundo y tercer sistema fotográfico se mostró significativamente diferente en la detección de las 11 especies/grupos faunísticos que fueron detectadas por ambos sistemas (ANOVA anidado por el tipo de cámara dentro de cada especie y ponderado por el valor de N ; $F_{12, 1288} = 9,13$; $p < 0,001$). Estas diferencias se reflejaron de forma más pronunciada en la detección de micromamíferos, ratas, mustélidos pequeños y zorros (Tabla 3.10). Para todas ellas el tercer modelo fue el más efectivo (Figura 3.8).

Tabla 3.10. Resultado de las comparaciones planificadas del ANOVA anidado por el tipo de cámara dentro de cada especie y ponderado por el número de cruces de vertebrados terrestres (N).

	$F_{1, 1288}$	p
Anuros	2,50	0,114
Lacértidos	0,15	0,703
Micromamíferos	36,12	<0,001
Rata	8,60	0,003
Rata de agua	2,76	0,097
Erizo	1,43	0,232
Mustélidos pequeños	30,49	<0,001
Gato	3,58	0,059
Lagomorfo	0,02	0,884
Zorro	20,94	<0,001
Cánidos	2,96	0,086

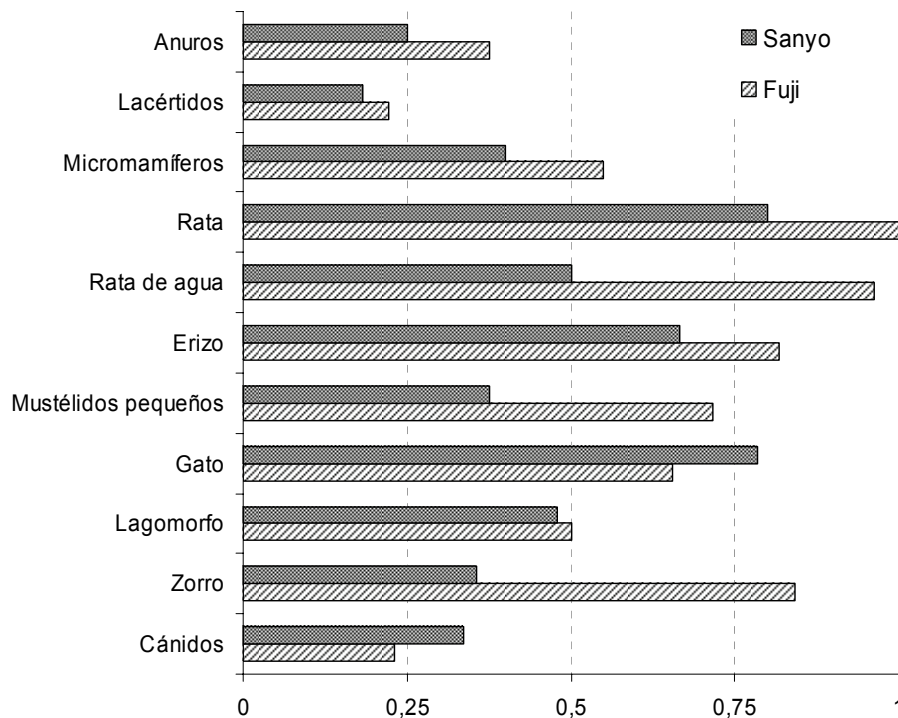


Figura 3.8. Comparación de la efectividad de los dos últimos sistemas fotográficos: Sanyo vs. Fuji. En el eje de abscisas se muestran los valores de probabilidad de que el sistema fuera efectivo (q) para aquellas especies detectadas en los dos periodos de control.

3.4. DISCUSIÓN

Por primera vez se comparan dos métodos de control ampliamente utilizados en el seguimiento de pasos de fauna: el registro de huellas, en este caso mediante marmolina (ej. Yanes *et al.*, 1995; Clevenger *et al.* 2001; Ascensão y Mira, 2007) y los sistemas fotográficos (ej. Foster y Humphrey, 1995; Land y Lotz, 1996; Roof y Woodwing, 1996). Hasta el momento únicamente se habían elaborado revisiones de las distintas metodologías empleadas (véase Luell *et al.*, 2003), siendo éste el primer estudio en el que se analiza la efectividad de dos de estos métodos. En esta discusión, además, se evalúan las ventajas e inconvenientes de ambos métodos, así como su complementariedad, características que indudablemente deben ser consideradas la hora de seleccionar uno u otro sistema.

En líneas generales, la utilización como método de control del registro de huellas mediante la marmolina se muestra más eficaz que cualquiera de los sistemas fotográficos empleados. Las diferencias entre métodos se hacen más evidentes sobre todo en la detección de las especies de menor tamaño, fundamentalmente en anfibios y reptiles, si bien se trata de un resultado que cabría esperar dado que se trata de especies cuyo tamaño está en el límite de la altura a la que se puede situar la barrera de infrarrojos del sistema fotográfico. Este problema se agudiza principalmente en los pasos específicos en los que el solado es de tierra, presentando irregularidades que determinan la altura

mínima del haz de infrarrojos, y de este modo, condiciona el rango de tamaño de los animales que serán detectados. De igual modo, el registro de huellas se muestra más efectivo para ciertas especies de tamaño mediano-grande como son zorros y cánidos (perros y lobos), posiblemente debido a que estas especies en ocasiones cruzan por las estructuras a paso rápido, de forma que cuando se produce el disparo de la cámara, la especie en cuestión ya está fuera del campo de visión de la misma y, por lo tanto, no queda reflejado en la fotografía el paso de la especie.

En contraposición a esta tendencia general, para ciertas especies como los micromamíferos, cánidos y gatos se observa una mayor efectividad del sistema fotográfico, aunque únicamente en los pasos superiores mixtos. Esta efectividad resulta considerablemente inferior a la mostrada por el mismo sistema y para las mismas especies en los pasos inferiores mixtos. Las diferencias en la efectividad del sistema en función del tipo de paso podrían derivarse de aspectos comportamentales de las especies a la hora de utilizar un tipo u otro de estructura. Posiblemente, estas especies pueden cruzar con mayor rapidez las estructuras inferiores y por ello, el sistema fotográfico no las detecta de forma efectiva. Sin embargo, en los pasos superiores mixtos, siendo su tránsito hipotéticamente más pausado, éste es captado por el sistema fotográfico sin problemas. La amplitud de los pasos podría estar determinando este comportamiento. Tal y como apunta Kéller (1999), según aumenta la amplitud de las estructuras, las especies muestran un menor recelo al cruzar por ellas, cruzando de forma más tranquila/natural. Del mismo modo, Foster y Humphrey (1995) recomiendan el diseño de pasos inferiores con la parte correspondiente a la mediana sin techar, para reducir el efecto túnel de estas estructuras y minimizar el rechazo de las especies hacia estos nuevos elementos del paisaje. No obstante, el propio tamaño de la muestra impide emitir conclusiones ni tan siquiera preliminares, sino más bien sugerir una posible explicación que debe ser asumida con cautela, a la espera de nuevos estudios. Sin duda, abordar esta cuestión no sólo requeriría un estudio cuyo tamaño muestral fuera más amplio, sino que además debería contar con un diseño experimental específico destinado a profundizar en estos aspectos (ej. control mediante sistemas videográficos).

El registro de huellas, pese a ser más efectivo, resulta más dependiente de condiciones externas, tales como la climatología y la actividad humana registrada en los pasos. Cabe recordar que, a lo largo de todas las campañas de control, el número de días invalidados superó el 18% (323 días). La lluvia y en menor medida el fuerte viento impiden el correcto registro de la huellas. De igual modo, si el tránsito de vehículos y/o de ganado por las estructuras es intenso, el solapamiento de registros incrementa notablemente la probabilidad de perder contactos, pudiendo llegar a invalidar numerosos días de control. Los resultados obtenidos en el control de la autovía A-231 reflejan esta problemática, con un incremento notable de los días nulos, derivados de una mayor actividad humana registrada en los pasos de dicha autovía.

Los sistemas fotográficos en cambio, resultan más dependientes de las características inherentes a sí mismos, especialmente de la velocidad de disparo de la cámara o el ajuste de la barrera de infrarrojos. Los resultados muestran un incremento progresivo en la efectividad del sistema fotográfico a lo largo de los tres modelos probados. Este hecho

se deriva, por un lado, de las mejoras introducidas en la barrera de infrarrojos, siendo éstas de mayor alcance, algo imprescindible en pasos amplios. Por otro, por la disminución de la velocidad de disparo en la última cámara. Además, se observan diferencias significativas en la detectabilidad fotográfica entre especies, si bien no reflejan patrones claros.

A pesar de que el sistema fotográfico aparece como método claramente menos efectivo con respecto al registro de huellas, es necesario incidir en algunas de las ventajas que indudablemente posee:

- I. La mayor precisión en la identificación de algunas especies, sobre todo en especies de tamaño medio y grande. Básicamente, la identificación dependerá de 4 factores: el tamaño del animal, la distancia a la que se encuentra, la luz ambiental/flash de la cámara, y la complejidad taxonómica del grupo de que se trate. Este método permite distinguir especies cuyas huellas están sujetas a confusión, tales como gato doméstico y gato montés, perro y lobo, conejo y liebre, así como las de los diferentes mustélidos. Además, para numerosas especies el sistema de control fotográfico permite analizar diferencialmente la utilización de los pasos en función del sexo y la clase de edad de la especie en cuestión, posibilidad fuera de todo alcance en el caso del control mediante huellas (fotografías 3.3 y 3.4). Así mismo, cabe destacar que el registro fotográfico brinda la posibilidad de poder identificar ciertas especies a nivel de individuo, en función del patrón del pelaje (Karanth *et al.*, 2002; Henschel y Ray, 2003).

Otra característica reseñable de este método, es la información detallada que ofrece del momento exacto en el que se produce el cruce del animal, al quedar registrada fecha y hora del mismo. Esta información permite realizar un análisis pormenorizado de la utilización de los pasos, y por ejemplo, en pasos de tipo mixto tiene la aplicación de que se podría utilizar para valorar la opción de cerrarlos al tránsito humano durante ciertas horas.



Fotografías 3.3 y 3.4. En algunas especies como el ciervo, el sistema fotográfico permite identificar el sexo y la edad aproximada de los individuos.

- II. La capacidad de carga de información del sistema es sustancialmente mayor que en el registro de huellas, simplemente limitada por la tarjeta de memoria empleada y la resolución escogida. Sólo en algunas ocasiones la curiosidad humana y en otras la impasibilidad canina llegan a poner a prueba la capacidad del sistema (fotografías 3.5. y 3.6).



Fotografía 3.5. La curiosidad a veces lleva a las personas a acercarse a los equipos, llegando a producir numerosos contactos fotográficos.



Fotografía 3.6. La actitud de algunos perros puede provocar el disparo de numerosas fotografías agotando la capacidad de la tarjeta de memoria de la cámara fotográfica.

- III. Y por último, destacar la mayor resistencia frente a las inclemencias meteorológicas. El viento no afecta de ningún modo a los equipos, y a lo sumo puede provocar falsos contactos al arrastrar hojas, polvo, etc. La lluvia directa tampoco es un gran problema, ya que todos los componentes están protegidos. La elevada humedad atmosférica plantea mayores dificultades, ya que llega a empañar la lente del objetivo hasta el punto de inutilizar la cámara fotográfica. Además, la presencia de agua en drenajes y ciertos pasos inferiores no conllevan más inconvenientes que los de cuidar la altura a la que se instalan los equipos. No obstante, siempre puede darse el caso de que la intensidad y velocidad de las crecidas hagan necesario un

reajuste urgente de los mismos (fotografía 3.7). De cualquier modo, y a diferencia de lo que ocurre con los controles mediante marmolina, estas contrariedades nunca llegan a suponer un obstáculo insalvable.



Fotografía 3.7. Los aguaceros intensos pueden provocar el ascenso del nivel del agua en pocos instantes, obligando a retirar los equipos de detección y cambiar su disposición en el paso.

Otros aspectos a considerar son tanto la instalación como el mantenimiento de cada uno de los métodos de control. En términos generales resulta más sencilla la instalación de una banda de marmolina en los pasos, además de no requerir labores de mantenimiento muy exigentes. Sólo en aquellos casos en los que debido a inclemencias meteorológicas (lluvia o viento), o bien como resultado de un elevado tránsito de vehículos o ganado, la totalidad de la banda debe ser repuesta. No obstante, para evitar el solapamiento de rastros requiere un mantenimiento aunque mínimo, preferiblemente a diario. Los sistemas fotográficos, en cambio, requieren inicialmente una mayor inversión de tiempo correspondiendo con la instalación, pero posteriormente el mantenimiento puede estar más espaciado en el tiempo, limitándose al recambio de baterías y la descarga de las fotos cada 3 ó 4 días, dependiendo de cada situación. Por último, cabe destacar que uno de los factores más relevantes a tener en cuenta en el mantenimiento de los sistemas fotográficos es el vandalismo. En el desarrollo de esta tesis doctoral un tercio de los equipos fueron hurtados (12 equipos).

Una vez valoradas las ventajas e inconvenientes de estos dos métodos de control y, evaluada la efectividad de cada uno de ellos, sin duda se plantea como la solución más adecuada la combinación de ambos para realizar un seguimiento óptimo. Su utilización simultánea reduce al mínimo la probabilidad de perder registros y al mismo tiempo, permite la identificación específica (incluso individual), dotando de una información adicional al seguimiento que puede resultar de gran interés de cara a la conservación de determinadas especies.

No obstante, y desde una perspectiva aplicada, a la hora de evaluar la efectividad de estas medidas correctoras destinadas a restablecer la permeabilidad de los proyectos de infraestructuras viarias, se recomienda la utilización del registro de huellas como método de control, bien sea mediante marmolina o sustrato arenoso de grano fino. Dicha recomendación debería incluirse en los seguimientos rutinarios incluidos en los programas de vigilancia ambiental, dictaminados por las Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) de dichos proyectos. Así mismo, sería aconsejable que las DIAs correspondientes a proyectos que atraviesen áreas con especies cuyo estado de conservación sea de interés general y cuyas huellas estén sujetas a confusión (ej. gato montés, lobo, visón europeo, etc.), obligaran a la utilización de sistemas fotográficos de forma complementaria.

En la realización de estudios más ambiciosos de carácter científico se hace imprescindible la utilización de sistemas fotográficos que aseguren la identificación de las especies, siendo recomendable la utilización de sistemas videográficos de forma complementaria para analizar el comportamiento de las especies que utilizan los pasos.

3.5. CONCLUSIONES

A la luz de los resultados el registro de huellas mediante marmolina aparece como método más efectivo frente al sistema fotográfico en el seguimiento de los pasos. No obstante, la utilización simultánea de los dos métodos reduce al mínimo la probabilidad de perder registros y, al mismo tiempo, permite la identificación específica (incluso individual), dotando de una información adicional al seguimiento que puede resultar de gran interés de cara a la conservación de determinadas especies.

A pesar de tratarse de un método eficaz de control del paso de animales, las principales limitaciones de la marmolina son: (i) su ineficiencia bajo condiciones atmosféricas adversas y sustratos encharcados, (ii) su limitada capacidad para almacenar información y (iii) la imposibilidad de distinguir las huellas de ciertas especies.

La efectividad del sistema fotográfico por su parte aparece principalmente condicionada por la rapidez de disparo de la cámara, a su vez dependiente de la velocidad con la que las especies crucen el paso, determinado por aspectos comportamentales de éstas. Otro condicionante es el tamaño de la especie, cuanto menor es el tamaño de ésta menor es su efectividad.

Entre las ventajas del sistema fotográfico, cabe destacar que permite discriminar los contactos de especies muy similares como: armiño/comadreja, garduña/marta, liebre/conejo, lobo/perro y gato doméstico/gato montés. Además éste puede utilizarse perfectamente sobre sustratos húmedos e incluso inundados y sólo los bancos de niebla o aguaceros intensos pueden impedir su buen funcionamiento. Por contra, son susceptibles de ser robados, manipulados o dañados.

Para terminar, de cara a los seguimientos rutinarios incluidos en los programas de vigilancia ambiental de los proyectos de infraestructuras viarias, el registro de huellas es suficientemente efectivo como método de control. Sin embargo, para todos aquellos estudios de carácter específico destinados a evaluar el estado de conservación de las poblaciones de determinadas especies en el entorno de estas infraestructuras, resulta imprescindible seguimientos más exhaustivos en los que también se empleen sistemas fotográficos e incluso videográficos.

Capítulo 4.

Evaluación de la intensidad del control

4.1. INTRODUCCIÓN

Un aspecto relevante en toda investigación, es sin duda, definir la duración del periodo de muestreo de modo que los resultados sean suficientemente representativos y fiel reflejo de la realidad a estudiar (Underwood, 1997; Quinn y Keough, 2002). Relativo al seguimiento de los pasos de fauna y desde un punto de vista teórico, el ajuste del número de días de control debería hacerse de tal modo que sea el mínimo para obtener una imagen lo más exacta posible del proceso estudiado.

El problema de si el periodo de control es representativo de las especies que usan los pasos es un caso particular de un tema recurrente en el ámbito de la ecología, la acumulación de especies que se observa en función del esfuerzo de muestreo. El problema de las curvas de acumulación de especies y su utilidad se ha analizado repetidas veces, generando en ocasiones cierta polémica (Gotelli y Colwell, 2001; Gray *et al.*, 2004). La principal cuestión aquí es que puede ser el único medio para estimar una variable imposible de medir, la riqueza de especies que se obtendría tras un muestreo infinitamente largo. Dicha estimación ha de hacerse mediante un modelo matemático, y aquí reside uno de los problemas de los estudios de acumulación de especies: se han propuesto diferentes modelos y los resultados son ligeramente distintos en función del modelo elegido (Flather, 1996; Thompson *et al.*, 2003).

Así mismo, la duración del periodo de control es un factor clave a la hora de diseñar los protocolos de seguimiento de los pasos de fauna, y en general, en la efectividad de todo programa de seguimiento (Dixon *et al.*, 1998). La duración de dicho periodo tiene sin duda un reflejo directo tanto en el coste del programa como en la utilidad de los datos que se obtengan, determinando la calidad de los mismos (Thompson *et al.*, 1998). En los estudios realizados hasta la actualidad se han utilizado periodos de seguimiento de diferente duración, siendo lo más frecuente el control consecutivo de cada estructura entre 10 y 20 días (Rodríguez *et al.*, 1996; Brudin, 2003). Sin embargo, hasta la actualidad no se ha evaluado la relevancia de la duración del seguimiento.

En este contexto se plantean dos objetivos esenciales. El primero es analizar los patrones de acumulación de especies de vertebrados terrestres que utilizan los pasos de fauna. Para ello, como paso previo se seleccionará la función que mejor se ajuste,

permitiendo modelar esta acumulación de especies, a fin de establecer su capacidad para formalizar matemáticamente las observaciones realizadas. Posteriormente, se llevará a cabo el análisis propiamente dicho a través del cual se valorará la representatividad de los datos obtenidos y se evaluarán las implicaciones que pudieran derivarse en la interpretación de esta tesis. En segundo lugar, se intenta recomendar unas directrices para los protocolos de seguimiento de pasos de fauna, tanto en lo referido al uso de modelos matemáticos, como en lo referido al número de días de seguimiento que deben establecerse.

4.2. MATERIAL Y MÉTODOS

4.2.1. Datos básicos

Se utilizaron los datos de uso de las estructuras por los vertebrados terrestres procedentes del seguimiento realizado en las autovías A-52 y A-231 (apartado 2.2.). La identificación de los animales se realizó utilizando el método del registro de las huellas en marmolina, controlándose el paso diariamente. Cabe recordar que en la identificación de aquellos rastros sujetos a confusión se mantuvieron los grupos faunísticos definidos en el capítulo 2 (apartado 2.4.1.1).

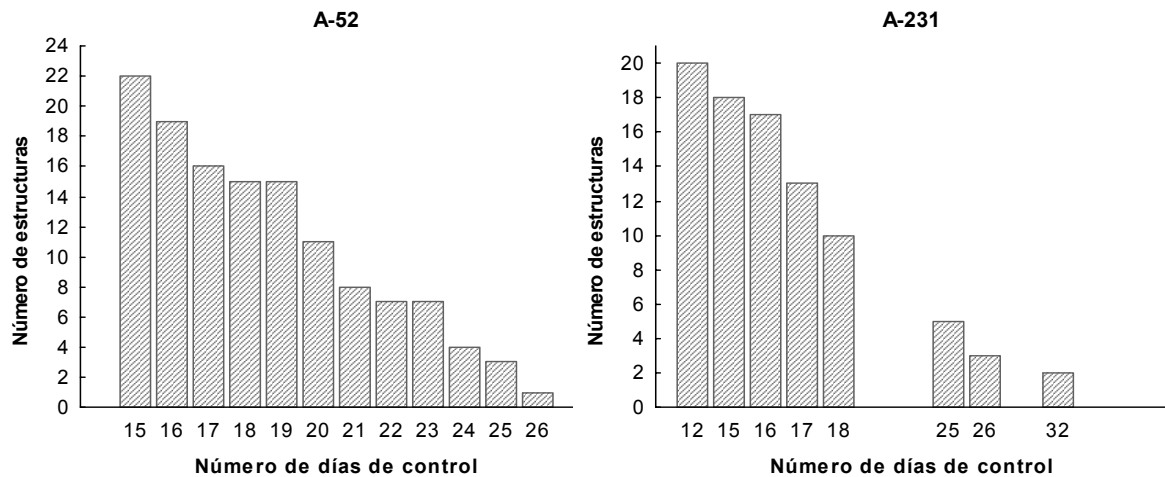
Los datos correspondientes a la autovía A-52 proceden del seguimiento durante el verano de 2002 de un total de 22 estructuras, incluyendo diferentes tipos de éstas tanto de diseño específico para la fauna como de uso mixto. Los datos relativos a la autovía A-231 corresponden a 20 estructuras controladas entre los meses de junio y julio de 2004 (Tabla 4.1).

Tabal 4.1. Tipo y número de estructuras seleccionadas en cada una de las autovías. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto, PSE: paso superior específico

Estructuras	A-52	A-231
DC	6	2
DA	3	6
PIM	4	1
PIE	3	7
PSM	4	-
PSE	2	1

Se seleccionaron exclusivamente los datos correspondientes al seguimiento de aquellas estructuras que contaban con periodos de control de 15 o más días válidos en la misma campaña de muestreo (Figuras 4.1. y 4.2). Por un lado, en la autovía A-52 el periodo máximo de control se extendió hasta los 26 días, registrados en un paso inferior específico (pk 27+450). Por otro lado, en la autovía A-231 el periodo de control que más

se prolongó fue en dos de las estructuras sujetas a seguimiento: un drenaje adecuado (pk 42+800) y un paso inferior específico (pk 142+750), en ambas se alcanzaron los 32 días de control.



Figuras 4.1. y 4.2. Duración del periodo de control para las estructuras seleccionadas en cada una de las autovías.

4.2.2. Tratamiento de datos

Se analizó la utilización (nº especies detectadas/día) de cada una de las estructuras por los vertebrados a lo largo del periodo de control, con el fin de comprobar si dicho uso era constante o sí por el contrario, se manifestaba algún tipo de aversión temporal después de que la banda de marmolina fuese instalada. Para ello, se realizó un test ANCOVA con el número de especies observadas en el paso como variable dependiente, la estructura como factor fijo y el día como covariante. Debido a la naturaleza potencialmente no lineal del efecto día de control, el test ANCOVA se repitió con la covariante día transformada logarítmicamente. Un efecto significativo de la covariante, con valor positivo del parámetro beta en cualquiera de los análisis, estaría evidenciando una menor utilización de los pasos justo en los primeros días del seguimiento. En ese caso, los resultados reflejarían una mayor utilización de los pasos justo al final del control, después de unos primeros días de habituación al elemento novedoso y extraño que supondría la banda de marmolina dispuesta en el interior del paso.

Posteriormente, se analizaron los patrones de acumulación de especies detectadas en las estructuras. En este proceso de selección del modelo se optó por emplear únicamente los datos procedentes de la autovía A-52, que contaba con un mayor número de estructuras. Los datos diarios correspondientes a la utilización de cada una de las estructuras por las especies/grupos faunísticos fueron transformados en valores diarios de número acumulado de especies por estructura. Una vez transformados, estos datos sirvieron para ajustar los modelos de curvas de acumulación de especies para cada una de las estructuras. El ajuste del modelo se llevó a cabo mediante métodos de estimación

no lineal con Statistica 6.1. (StatSoft, Inc. 2002). El método de estimación utilizado fue el de Levenberg-Marquardt siguiendo el procedimiento estándar provisto por el programa estadístico. En los casos en los que el programa Statistica no encontraba una solución, se repetía el proceso de cálculo utilizando como valores iniciales los parámetros obtenidos mediante el programa ModelMaker 3.0 (Walker y Crout, 1997).

Un total de 11 funciones de acumulación de especies se ajustaron a los datos de cada estructura, obteniéndose 22 modelos con cada tipo de función a los que posteriormente en el texto aparecerán referidos como “familia” (Anexo III). Las funciones ajustadas representan el abanico de las usadas con mayor o menor frecuencia en problemas ecológicos de acumulación de especies en relación con el esfuerzo de muestreo (Thompson *et al.*, 2003). Entre las funciones utilizadas las hay que contienen dos, tres y cuatro parámetros, y tanto ecuaciones que presentan una asíntota como otras infinitamente crecientes (tabla 4.2).

Tabla 4.2. Funciones de acumulación de especies en relación con el esfuerzo de muestreo (t =número de días de control).

Modelo	Expresión matemática	Asíntota
<i>- Dos parámetros (a, b)</i>		
Clench	$y = (a * t) / (1 + (b * t))$	a / b
Exponencial negativa	$y = a * (1 - \exp(-b * t))$	a
Exponencial	$y = a + (b * \log(t))$	No
Potencial	$y = a * t^b$	No
B-Logarítmica	$y = \log(1 + (a * b * t)) / b$	No
<i>- Tres parámetros (a, b, c)</i>		
Asintótica	$y = a - (b * c^t)$	a
Chapman-Richards	$y = a * ((1 - \exp(-b * t))^c)$	a
Razón	$y = (a + b * t) / (1 + c * t)$	b / c
Hill	$y = (a * b * t^c) / (1 + b^c)$	No
<i>- Cuatro parámetros(a, b, c, d)</i>		
Beta-P	$y = a * (1 - (1 + (t / c)^d)^{-b})$	a
Weibull	$y = a * (1 - \exp(-(b * (t - c))^d))$	a

Una vez ajustadas las funciones, se calculó el valor asintótico del número de especies cuya presencia en cada paso sería previsible según los diferentes modelos. Para las funciones que no presentaron una asíntota matemática (tabla 4.2), se calculó el número de especies predicho en 100 días de seguimiento. La decisión de utilizar el valor 100 días se tomó, de forma arbitraria, entendiendo que podría considerarse un período suficientemente largo (mayor que una estación astronómica completa) como para resultar representativo del valor de riqueza máximo esperable en un paso de fauna o cualquier otro tipo de estructura transversal a la vía.

A la hora de evaluar la idoneidad de las diferentes funciones de acumulación de especies se utilizaron una serie de criterios complementarios referidos a la calidad de los ajustes obtenidos, las predicciones realizadas y el propio tipo de función. En cuanto al ajuste, se tuvieron en cuenta: (i) el número de casos en que no había sido posible realizar el ajuste (el programa estadístico no encontraba una solución correcta), (ii) la varianza absorbida

(r^2) por la función ajustada, (iii) el porcentaje de parámetros significativos (como medida de la fiabilidad de los valores predichos), y (iv) el número de casos en que la función resultó ser la más apropiada desde un punto de vista matemático. Este último análisis se realizó mediante la comparación de los valores del Criterio de Información Bayesiana (BIC) de las distintas funciones (Quinn y Keough, 2002).

Además, se utilizaron dos criterios relacionados con el valor predicho de número de especies que utilizan un paso. En primer lugar, se descartaron por erróneos aquellos ajustes en que el número de especies previsto superaba el número de ellas presentes en el área de estudio de acuerdo con los Atlas Nacionales de distribución de los vertebrados terrestres (Palomo y Gisbert, 2002; Pleguezuelos *et al.*, 2002). Además se evaluó el número medio de especies predicho por cada tipo de función, a fin de detectar posibles sesgos sistemáticos hacia la sobre- o subestimación de riqueza de especies (Thompson *et al.*, 2003).

Una vez identificada la familia de funciones que mejor representaba la acumulación de especies en los pasos, ésta fue aplicada a cada uno de los casos seleccionados en las dos autovías objeto de estudio: 22 estructuras en la autovía A-52 y 20 en la A-231. Para cada uno de estos casos se calculó la asíntota, que correspondería al número de especies que potencialmente podrían utilizar cada estructura. Posteriormente, se transformaron los datos de especies acumuladas en cada paso en porcentajes respecto de la predicción de riqueza esperada para el mismo y definida por la asíntota anteriormente mencionada. De este modo se re-escalaron las observaciones de los diferentes pasos a fin de introducir en un único análisis los datos de todos los pasos, y obtener así un modelo general que mostrara el porcentaje de especies observadas en los pasos en función del número de días de seguimiento en cada una de las autovías.

Por último, y de manera prospectiva se analizó la relación entre el tamaño muestral y el número de especies detectadas. Se seleccionaron dos tipos de paso de la autovía A-52 con tamaño muestral diferente (drenajes circulares y pasos inferiores específicos). Dicho análisis, se llevó a cabo de acuerdo con la metodología previamente presentada, sustituyendo días de control por número de pasos controlados. Para ello, se generaron una serie de pseudomuestras a partir de un remuestreo aleatorio de los datos originales.

4.3. RESULTADOS

4.3.1. Datos básicos del seguimiento de la autovía de las Rías Bajas (A-52)

El seguimiento llevado a cabo en las 22 estructuras de la autovía A-52 produjo la detección de 20 especies, con una media diaria (\pm error típico) de $1,39 \pm 0,05$ especies/paso. El número de especies que utilizaron cada día los pasos varió significativamente entre estructuras (ver test ANCOVA en Tabla 4.3), encontrándose en el rango de 0,52-2,26 especies/día. No obstante, el número de especies que utilizaron cada paso no varió significativamente a lo largo del período de seguimiento (Tabla 4.3), pese a aumentar ligeramente el número de ellas registradas a lo largo del mismo ($\beta = 0,025 \pm$

0,017). Este mismo resultado se detectó tras la transformación logarítmica de la covariante día (Covariante log (día), $F = 0,929$, $p = 0,346$).

Tabla 4.3. Resultados del test ANCOVA utilizado para comprobar el efecto de la covariante “día de control” y el factor “paso” en el número variable de especies detectadas en un paso.

AUTOVÍA A-52	MC	g.l.	F	p
Día de control	9,799	1	2,248	0,149
Paso	4,360	21	5,626	<0,001
Error	0,775	413		

Una vez finalizado el período de seguimiento, en los pasos se detectó una media de $5,59 \pm 0,34$ especies, encontrándose todos los pasos en el rango de 3-8 especies. Aunque la detección de especies nuevas en cada paso tuvo lugar mayoritariamente en los 10-12 días iniciales de seguimiento, se siguieron detectando nuevas especies en los días posteriores (Figura 4.3). De hecho, en el único paso controlado durante 26 días se detectó una especie nueva durante el último día de control.

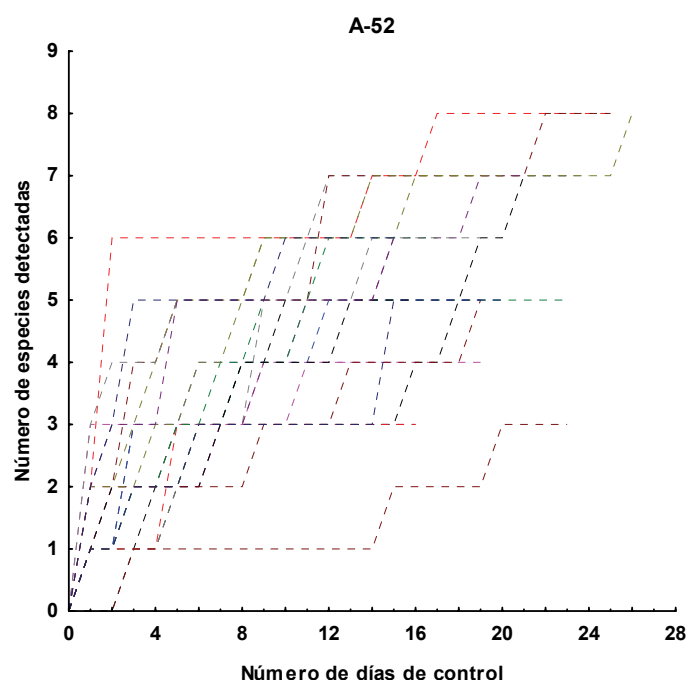


Figura 4.3. Datos brutos de acumulación de especies en los pasos de la autovía A-52 a lo largo del periodo de control. Nótese que las líneas ascendentes representan la detección de nuevas especies.

4.3.2. Datos básicos del seguimiento en la autovía del Camino de Santiago (A-231)

En el seguimiento llevado a cabo en la autovía A-231 en un total de 18 estructuras, se obtuvieron registros de 16 especies/grupos faunísticos diferentes, con una media diaria (\pm e.t.) de $1,54 \pm 0,21$ especies/paso. El número de especies que utilizaron diariamente los pasos varió en el rango de 0,85-2,71 especies/día, mostrando diferencias

significativas únicamente en la utilización entre pasos, y no a lo largo de los días de control (test ANCOVA, tabla 4.4). No obstante, y al igual que en las estructuras controladas en la autovía A-52, en la autovía A-231 también se registró cierto aumento en el número de especies detectadas en cada estructura a lo largo del periodo de control, si bien en este caso el aumento fue aún menor ($\beta = 0,01 \pm 0,02$). Cabe señalar que tras la transformación de la covariante día (covariante $\log(\text{día})$) el resultado se mantuvo.

Tabla 4.4. Resultados del test ANCOVA utilizado para comprobar el efecto de la covariante “día de control” y el factor “paso” en el número variable de especies detectadas en un paso.

AUTOVÍA A-231	MC	g.l.	F	<i>p</i>
Día de control	1,589	1	1,865	0,173
Paso	7,555	17	8,867	<0.001
Error	0,852	359		

En las 18 estructuras controladas en la autovía A-231 el número medio de especies detectadas fue de $5,83 \pm 0,35$ especies, variando el número por estructura en un rango comprendido entre 4 y 9 especies. La detección de especies nuevas se produjo mayoritariamente en los primeros 10 días de control (Figura 4.4).

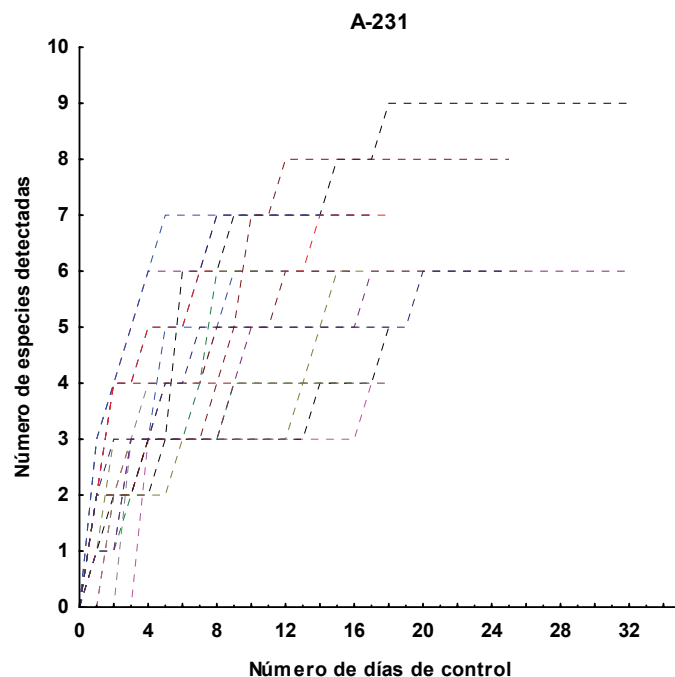


Figura 4.4. Datos brutos de acumulación de especies en los pasos de la autovía A-231 a lo largo de todo el periodo de control. Nótese que las líneas ascendentes representan la detección de nuevas especies.

4.3.3. Selección de la función de acumulación de especies

El modelado matemático, llevado a cabo con los datos relativos al seguimiento de las 22 estructuras controladas en la autovía A-52, resultó en general factible y los ajustes obtenidos fueron considerablemente buenos, si bien los distintos modelos se

comportaron de forma algo diferente (Tabla 4.5 y Anexo III). La totalidad de las funciones ajustadas presentaron un nivel explicativo elevado, siendo éste en general mayor cuanto mayor era el número de parámetros que contenía el modelo (r^2 media de 0,893; 0,908 y 0,930 para los modelos de dos- tres- y cuatro parámetros). De hecho, en todos los casos en que el programa estadístico encontró una solución matemática, el ajuste obtenido resultó altamente significativo ($p < 0.001$).

Sin embargo, en el ajuste de los modelos de tres y sobre todo los de cuatro parámetros aparecieron con cierta frecuencia problemas de sobre-parametrización (Tabla 4.5). Así, el programa estadístico no encontró una solución apropiada en el 41% de los casos para el modelo de *Weibull* y en el 27% para el modelo *Beta-P* (los dos modelos de 4 parámetros utilizados). Igualmente, en dos casos (9%) no fue posible ajustar el modelo de 3 parámetros de *Chapman-Richards*. Por contra, para todas las funciones de 2 parámetros fue posible encontrar una solución matemática. La sobre-parametrización se reflejó también en que los porcentajes más elevados de parámetros significativos correspondieron a modelos con 2 parámetros (cuatro de las cinco familias de modelos con más de un 90% de parámetros significativos), produciéndose un descenso de este valor en los modelos más complejos.

Tabla 4.5. Resultados del ajuste de las funciones de acumulación de especies con los datos procedentes del seguimiento de estructuras de la autovía A-52.

Modelo	sin solución	r^2 (media \pm DE)	r^2 (min)	Predicción irreal	Mejor ajuste	% parámetros significativos	Riqueza esperada
- Dos parámetros							
Clench	0	0,905 \pm 0,054	0,782	2	3	97,7	8,63
Exponencial negativa	0	0,897 \pm 0,065	0,761	2	4	90,9	6,30
Exponencial	0	0,860 \pm 0,076	0,688	0	0	72,7	8,69
Potencial	0	0,898 \pm 0,054	0,768	0	8	100,0	13,01
B-Logarítmica	0	0,905 \pm 0,053	0,799	2	1	90,9	9,57
- Tres parámetros							
Asintótica	0	0,905 \pm 0,058	0,762	3	0	87,9	6,88
Chapman- Richards	2	0,916 \pm 0,055	0,768	9	0	56,7	9,50
Razón	0	0,912 \pm 0,045	0,829	3	2	59,1	9,55
Hill	0	0,898 \pm 0,054	0,768	0	0	77,3	13,01
- Cuatro parámetros							
Beta-P	9	0,937 \pm 0,042	0,849	4	2	40,4	8,16
Weibull	6	0,924 \pm 0,051	0,817	3	2	82,8	7,77

Aparte del problema de la falta de solución matemática en el ajuste de funciones de acumulación de especies, en algunos casos se detectó la generación de predicciones irreales (Tabla 4.5). El máximo número de especies (junto con grupos taxonómicos) de vertebrados potencialmente detectables en el área de estudio se elevaba a 26 (apartado 2.2), número superado en algún caso por 8 de los 11 modelos utilizados. Sólo los modelos a partir de las funciones *Exponencial*, *Power* y *Hill* no produjeron predicciones

erróneas de este tipo, si bien las predicciones utilizadas para los tres modelos correspondían al cálculo esperado a los 100 días, ya que no presentaban una asíntota matemática (Tabla 4.2). Entre los modelos con mayor tendencia a generar predicciones irreales resultaron el de *Chapman-Richards* (con 9 de los 20 casos) y el *Beta-P* (4 de 13).

Los modelos que, sobre la base del ajuste matemático (Tabla 4.5), resultaron más apropiados con mayor frecuencia fueron el modelo de la función *Potencial* (8 casos), el de la función *Exponencial negativa* (4) y el modelo de *Clench* (3). Para el total de las estructuras, en 16 casos el mejor modelo probado era de 2 parámetros, en 2 casos era de 3 parámetros, y en 4 ocasiones el modelo matemáticamente más apropiado resultó ser de 4 parámetros.

Por último, los diferentes modelos generaron predicciones de número potencial de especies diferentes, generándose una horquilla relativamente amplia de valores. Así, las medias de valores predichos (Tabla 4.5) variaron entre los mínimos de 6,30 y 6,88 generados por los modelos *Exponencial negativa* y *Asintótica* los 13,01 de los modelos *Power* y *Hill*.

4.3.4. Ajuste del modelo general al periodo de control

Sobre la base de estos resultados, se optó por utilizar los ajustes a la función de *Clench* para los análisis posteriores, tanto para los datos procedentes de la autovía A-52 como para los procedentes de la autovía A-231. Una vez relativizados los datos de especies acumuladas como porcentajes de los valores asintóticos, se ajustó la función a estos datos, sustituyendo el parámetro b por la expresión $a/100$. Esta simplificación se pudo realizar gracias a que el valor asintótico de la función, por definición, es 100% y la asíntota del modelo de *Clench* es a/b (ver Tabla 4.2).

La función así ajustada para los datos correspondientes a la autovía A-52 (Figura 4.5) resultó altamente significativa ($F = 141,8$; g.l.:19; $p < 0,001$), y presentó un parámetro $a \pm e.t.$ de valor $15,20 \pm 0,73$. La gráfica muestra que tras 25 días de seguimiento de un paso aún faltaría por detectar el 20% de las especies que el modelo predice que deben usarlo. Según el modelo serían necesarios 10 días de seguimiento para detectar un 60% de las especies que utilizan un paso, y 16 días para alcanzar el 70%.

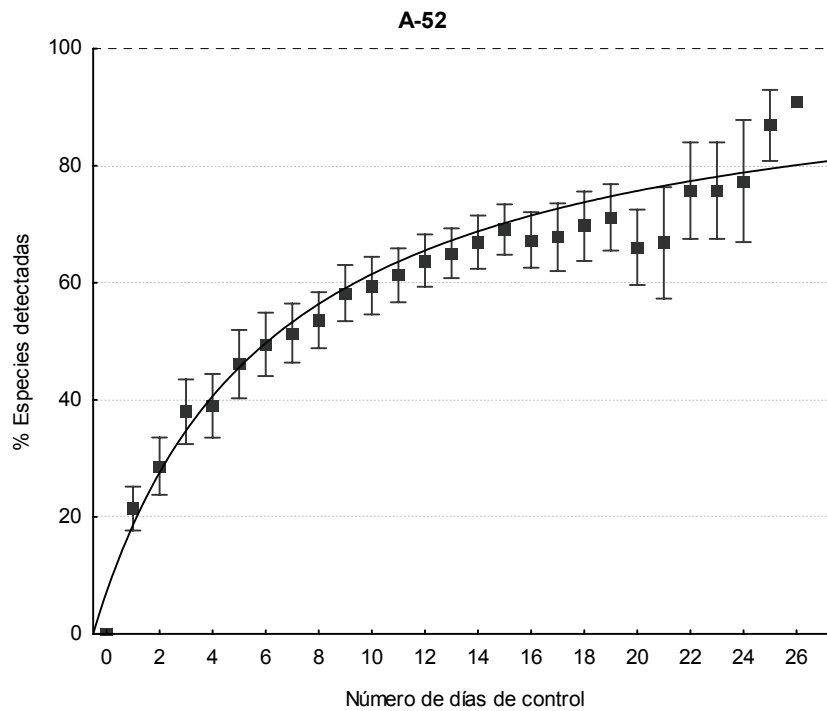


Figura 4.5. Patrón medio de la acumulación de especies en una estructura en relación con el número asintótico predicho con la función de Clench de especies que utilizan cada una de ellas. Los puntos muestran la media \pm error típico del porcentaje de especies detectadas, y la línea representa el modelo de Clench ajustado para el conjunto de datos de la autovía A-52.

Del mismo modo, la función ajustada para los datos procedentes de la autovía A-231 también resultó significativa ($F = 264,63$; g.l.: 17; $p < 0,001$), siendo el valor del parámetro $a \pm e.t.$ de $23,60 \pm 1,02$. Según refleja la gráfica a los 10 días de seguimiento se habrían detectado hasta un 69% de las especies que utilizan un paso, y al cabo de 20 días el porcentaje de especies detectadas sobrepasaría el 80% (figura 4.6).

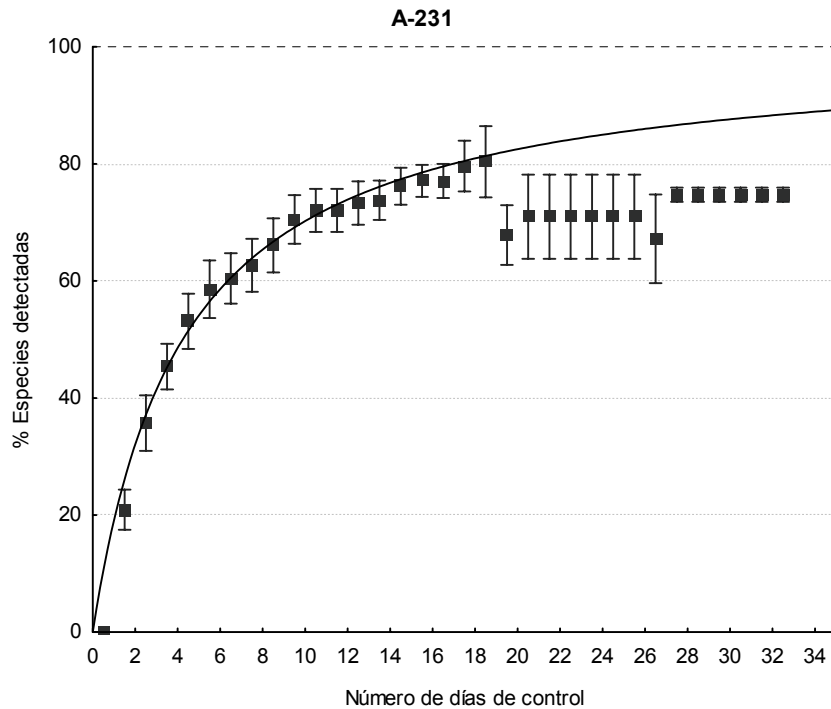


Figura 4.6. Patrón medio de la acumulación de especies en una estructura en relación con el número asintótico predicho con la función de Clench de especies que utilizan cada una de ellas. Los puntos muestran la media \pm error típico del porcentaje de especies detectadas, y la línea representa el modelo de Clench ajustado para el conjunto de datos de la autopista A-231.

4.3.5. Ajuste del modelo general al tamaño muestral

Con el fin de evaluar no sólo la duración óptima del periodo de control sino también el tamaño muestral empleado, con un carácter primordialmente exploratorio, se analizó la idoneidad del número de pasos controlados de dos tipos de pasos de la autopista A-52. Por un lado, los drenajes circulares y por otro, los pasos inferiores específicos, cuyo tamaño muestral variaba considerablemente con 33 y 7 pasos respectivamente.

La función ajustada para los drenajes circulares resultó significativa ($F = 457,83$; g.l.: 4 $p < 0,001$), siendo el valor del parámetro $a \pm$ e.t. de $18,95 \pm 0,54$. Según refleja la gráfica con los 33 drenajes controlados se habrían detectado hasta un 74% de las especies que utilizan este tipo de pasos (figura 4.7).

Así mismo, el ajuste de la función para los pasos inferiores específicos fue significativo ($F = 327,89$; g.l.: 9; $p < 0,001$), presentando un valor del parámetro $a \pm$ e.t. de $68,43 \pm 4,77$. En este caso, con un total de 7 estructuras controladas de este tipo se detectarían el 88% de las especies que cabe esperar registrar haciendo uso de los pasos inferiores específicos (figura 4.8).

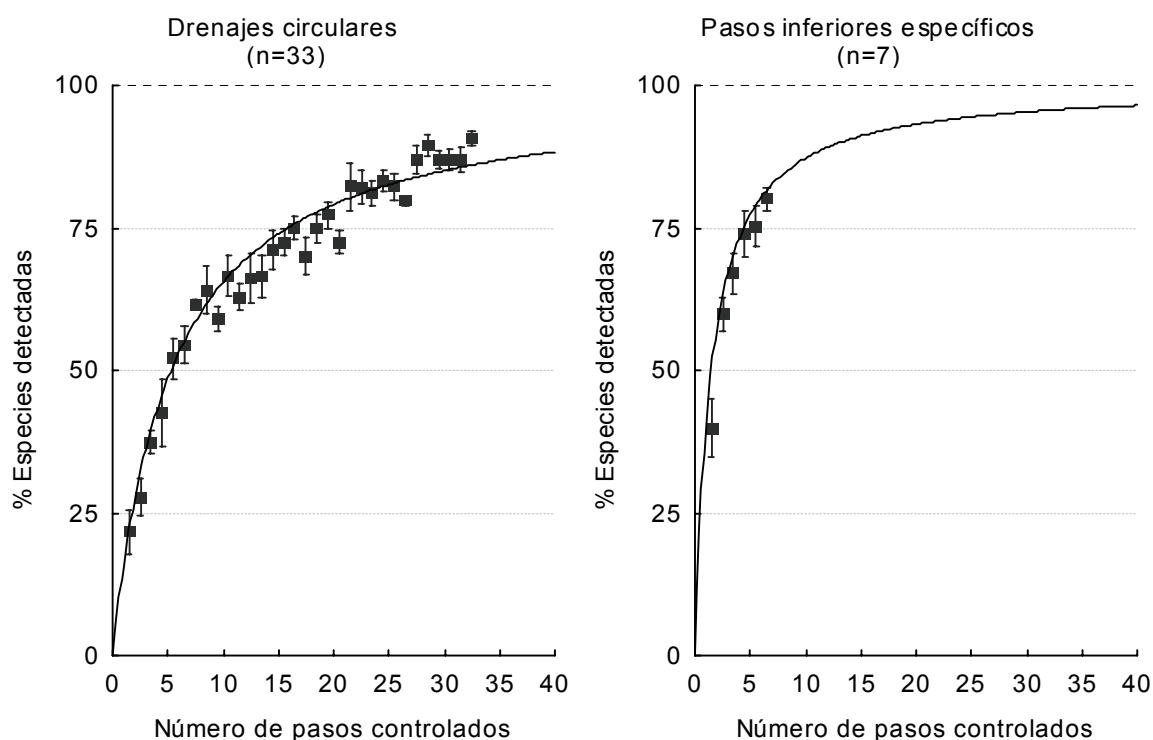


Figura 4.7 y 4.8. Patrón medio de la acumulación de especies en dos tipos diferentes de estructuras en relación con el número asintótico predicho con la función de Clench de especies que utilizarían tanto los drenajes circulares (izquierda) como los pasos inferiores específicos (derecha). Los puntos muestran la media \pm error típico del porcentaje de especies detectadas, y la línea representa el modelo de Clench ajustado para el conjunto de datos correspondientes a los dos tipos de estructura seleccionados de la autovía A-52 y las pseudomuestras obtenidas mediante el remuestreo aleatorio aplicado.

4.4. DISCUSIÓN

En este capítulo se presenta el patrón de acumulación de especies en los pasos de fauna de dos autovías diferentes, y el procedimiento por el cual pueden sistematizarse matemáticamente dichas observaciones. A partir de dichos resultados se pueden extraer una serie de consideraciones relativas al diseño experimental de esta tesis doctoral, así como unas recomendaciones de carácter más general aplicables a la generación de protocolos de seguimiento de este tipo de medidas correctoras.

Los resultados muestran que la detección de todas las especies que utilizan un paso de fauna puede ser un proceso largo y de resultado incierto. Así por ejemplo, en una de las autovías (A-52) la observación de nuevas especies en los pasos se prolongó en muchos casos hasta los últimos días del seguimiento, ocurriendo incluso tras 25 días de registro. De hecho, es indudable que si el seguimiento de los pasos hubiese sido más duradero se habrían detectado más especies. La mayoría de los estudios enfocados a evaluar el uso de un conjunto amplio de estructuras por la fauna han utilizado períodos de 10-20 días por estación de muestreo (Rodríguez *et al.*, 1996; Brudin, 2003), si bien en ocasiones se han utilizado períodos más cortos (Taylor y Goldingay, 2003) e incluso inferiores a una semana (Hunt *et al.*, 1987; Yanes *et al.*, 1995; Ng *et al.*, 2004). Períodos de seguimiento

más largos son extraños, y suelen corresponder a estudios enfocados a un número pequeño de especies o a pasos concretos (Reed *et al.*, 1975; Jackson y Tynning, 1989; Foster y Humphrey, 1995; Mathiasen y Madsen, 2000), o se han realizado dentro de grandes proyectos de investigación de fauna y carreteras (Clevenger y Waltho, 2000; Clevenger *et al.*, 2001).

En todo caso, la representatividad del período de muestreo debe tenerse en cuenta a la hora de analizar y discutir los datos obtenidos. La mayoría de los estudios no evalúan el efecto que puede generar la longitud del período de muestreo utilizado, o soslayan el problema agrupando todos los datos en forma de una gran muestra (Clevenger *et al.*, 2001; Ng *et al.*, 2004). En el primer caso, si los períodos de seguimiento son breves puede infravalorarse la utilización de los pasos de fauna, o dificultarse la comparación entre muestras por el efecto del azar sobre muestras pequeñas. Este hecho es más preocupante si, además, la duración del muestreo varía entre muestras (Rodríguez *et al.*, 1996). La agrupación de datos provenientes de diferentes campañas de muestreo elimina estas preocupaciones, ya que la duración total del período de muestreo por estructura suele ser bastante larga. Como contrapartida, esta aproximación imposibilita el análisis estacional del uso de los pasos de fauna.

Por ello, un correcto ajuste de la duración del seguimiento de cada estructura permite optimizar la relación entre la cantidad de trabajo realizada y la utilidad de los resultados obtenidos. En este sentido, la situación ideal es el ajuste del período de seguimiento de cada paso de fauna para que los resultados sean directamente utilizables como representativos de la fauna que lo usa en la estación en que se lleva a cabo el muestreo. Esta aproximación permite la comparación estacional (Rodríguez *et al.*, 1996, véase también el capítulo 7 de esta tesis), y la evaluación del cambio a largo plazo que tiene lugar en el uso de las estructuras transversales a las infraestructuras lineales (Clevenger y Whalto, 2004).

La aproximación matemática, mediante modelos de acumulación de especies, puede ayudar, sin duda, a la definición de cuál debe ser la duración de los períodos de seguimiento. Por una parte, los modelos sirven para inducir el comportamiento de variables más allá de los límites en que se realizó el muestreo (Gotelli y Colwell, 2001; Wainwright y Mulligan, 2004), en este caso para aproximar la idea de cuántas especies es posible que no hayan sido detectadas en un paso de fauna simplemente por la brevedad del período de muestreo. Si bien esta aproximación no permite conocer qué especies faltan por detectar, sí permite valorar la fiabilidad de los datos registrados. Además, el modelado facilita la generalización y la formalización a partir de una serie de observaciones que muestran cierta variabilidad (Quinn y Keough, 2002). No obstante, la aplicación de modelos matemáticos a procesos naturales debe llevarse a cabo con cautela a fin de evitar la generación de predicciones matemáticamente fundadas pero irreales desde el punto de vista biológico (Peters, 1991). Este es el caso de los modelos que predicen a la utilización de los pasos de fauna u otro tipo de estructura por un número de especies superior a la propia fauna existente en el territorio.

Los resultados apoyan la utilización del modelo de *Clench* de acumulación de especies para analizar las observaciones de los vertebrados que usan las estructuras transversales

de la vía. La simplicidad del patrón de acumulación de especies encontrado y la utilización de un número de datos reducido hacen innecesaria e incluso negativa el modelado basado en más de dos parámetros, adecuado para series de datos más amplias (Flather, 1996; Thompson *et al.*, 2003). Este hecho, además, facilita la utilización de paquetes estadísticos de propósito general en futuras aplicaciones (ej. Statistica, SPSS), ya que la solución de los modelos más complejos con frecuencia sólo puede encontrarse con programas específicos de modelado. Entre las funciones de dos parámetros, el modelo de *Clench* consiguió el mayor valor de r^2 y el segundo mayor porcentaje de parámetros significativos. Además, posee la ventaja de presentar una asíntota matemática, hecho compartido sólo con el modelo de la función *Exponencial negativa* entre los de dos parámetros. Esta característica evita la necesidad de utilizar un valor arbitrario de días de muestreo (100 días en este caso) para calcular el número de especies potencialmente usuarias de un paso de fauna. Por último, el modelo de *Clench* produce estimas intermedias entre todo el conjunto de modelos, lejos de las predicciones sistemáticamente por encima y por debajo como las de los modelos de las funciones *Potencial* y *Exponencial negativa*, respectivamente (ver también Thompson *et al.*, 2003).

Cabe señalar que el aparente mal ajuste de la función a partir de los 18-20 días de seguimiento, (figuras 4.3. y 4.4.) se debe simplemente al pequeño número de pasos con un período de seguimiento de tal duración. El ajuste de la función hasta los 18 días de control está basado en un tamaño muestral mayor y sin duda, está determinando el ajuste para periodos más largos.

4.4.1. Implicaciones para esta tesis doctoral

En el diseño de esta tesis doctoral, cuyos principales resultados se presentan en los siguientes capítulos, se fijó en 10 días el periodo de control por estructura (ver también apartado 2.4. del capítulo 2). No obstante, en ocasiones el periodo de control fue prolongado con fines metodológicos, tal y como queda reflejado en este capítulo, permitiendo así, la evaluación *a posteriori* de los resultados obtenidos.

Según el modelo seleccionado de *Clench*, tras los 10 días de seguimiento en cada una de las estructuras controladas se habrían detectado un 60% de las posibles especies usuarias de cada paso en la autovía A-52 y hasta un 69% en la autovía A-231. Esta aproximación resulta orientativa del error cometido en cada uno de los controles, de la pérdida de información que, sin duda, deber ser tomada en cuenta. No obstante, cabe recordar que es en los primeros 10 días de control donde se registra la mayor tasa de aparición de nuevas especies. Además, el hecho de utilizar un periodo relativamente breve como son los 10 días, permitió controlar un mayor número de estructuras en una misma campaña de seguimiento, con lo cual buena parte de la subestimación cometida a nivel particular de cada estructura, queda, al menos teóricamente, reducida al aumentar el tamaño de la muestra. Al controlar un mayor número de estructuras, aunque se haya demostrado que el tiempo de control resulta ligeramente insuficiente, cabe esperar que las especies más raras sean finalmente detectadas, y así mismo, permita obtener una visión más completa del uso de los distintos tipos de estructuras por la fauna.

En definitiva, el periodo de control de los pasos seleccionado para el desarrollo de esta tesis doctoral quizás no sea el más apropiado, y debería haberse prolongado hasta los 15 días. Sin embargo, los resultados presentados en los siguientes capítulos, basados en los 10 días de seguimiento por estructura, quedan reforzados por el elevado tamaño muestral utilizado en cada una de las campañas, que dotan de una mayor robustez al análisis y por lo tanto, a las conclusiones derivadas de los mismos.

4.4.2. Implicaciones de carácter aplicado

En la actualidad, las Declaraciones de Impacto Ambiental de los proyectos de infraestructuras viarias exigen el desarrollo de programas de vigilancia, en los que un aspecto fundamental es el seguimiento y evaluación de la efectividad de las medidas correctoras destinadas a reducir el efecto barrera de dichas obras. Los resultados obtenidos permiten elaborar recomendaciones aplicables en los programas de seguimiento de pasos de fauna, si bien existe una serie de condicionantes que han de ser tenidos en cuenta. En primer lugar, los resultados se han obtenido a partir de datos recogidos en dos escenarios distintos pero en una única estación, siendo deseable la realización de ensayos como el aquí presentado en más situaciones a fin de comprobar la generalidad de las conclusiones encontradas. En este sentido, podrían darse diferencias estacionales en los patrones de uso de las estructuras por la fauna, si bien parece que dicho patrón se mantiene bastante constante a lo largo del año, al menos en ambientes mediterráneos (Rodríguez *et al.*, 1996, ver también Capítulo 7 de esta tesis). Además, podrían aparecer diferencias asociadas a la riqueza de la fauna del entorno de las estructuras, de modo análogo a lo observado en las aplicaciones de curvas de acumulación de especies a otros problemas de muestreo (Flather, 1996, Gray *et al.*, 2004). Por último, las sugerencias que se realizan están enfocadas a los programas de seguimiento rutinario de medidas correctoras destinados a la evaluación básica del uso de los pasos de fauna por los vertebrados y no a investigaciones concretas, que requerirían diseños específicos. Frente a ellos, el seguimiento enfocado a especies concretas presenta características radicalmente distintas (Singer y Doherty, 1985; Foster y Humphrey, 1995; Gloyne y Clevenger, 2001; Cain *et al.*, 2003).

Hechas estas salvedades se recomienda la evaluación de la curva de acumulación de especies obtenida en los pasos de fauna, a fin de valorar hasta qué punto el programa de seguimiento ha detectado la mayor parte de las especies que los usa, o si es necesario prolongarlo. Para este objetivo resulta indicada la utilización del modelo de *Clench*. Secundariamente, la utilización de modelos puede servir para comparar datos procedentes de muestreos con diferente duración del periodo de seguimiento (Flather, 1996; Gotelli y Colwell, 2001).

Así mismo, resulta aconsejable que el período de seguimiento de los pasos deba extenderse entre 10 y 15 días para detectar la mayoría de las especies. No obstante, este período puede prolongarse o acortarse dependiendo de varios factores. Si existe un gran número de pasos a controlar y los costes de montaje y desmontaje del sistema de seguimiento son pequeños, puede merecer la pena acortar el seguimiento hasta 7-8 días

por estructura. En ese momento se ha detectado más del 50% de las especies y la tasa de aparición de nuevas especies se reduce, por lo que puede ser más ventajoso trasladar el seguimiento a otra estructura. Por contra, en los casos en que el número de estructuras potencialmente controlables sea pequeño (ej. pasos específicos de fauna), el período de seguimiento debe ser más prolongado. Con estas cifras orientativas y en función del caso concreto, la sugerencia es utilizar una longitud de seguimiento estandarizada para todas las estructuras a controlar, y sólo excepcionalmente utilizar períodos de seguimiento de distinta duración (p.ej. prolongar la duración del seguimiento de los pasos superiores específicos de fauna o ecoductos).

Por último, estos resultados apoyan la factibilidad de establecer programas obligatorios de seguimiento de las medidas correctoras del efecto barrera en las nuevas infraestructuras lineales. Por una parte, los costes de su puesta en marcha no tienen por qué ser muy elevados, dada la relativa brevedad del período de seguimiento necesario para tener una idea básica del uso de ellas por la fauna. Por otra parte, el seguimiento puede producir bases de datos de gran interés por la amplitud espacial abarcada si la toma de datos responde a unos mínimos requerimientos científicos y siempre y cuando, se permita el acceso a los resultados, tal y como establece la Ley 27/2006. Por tanto, el desarrollo de protocolos de seguimiento en los que se incluya la duración del período de muestreo, es básico para la puesta en marcha de dichos programas, y para que sus resultados sean de la máxima utilidad.

4.5. CONCLUSIONES

La aproximación matemática, mediante modelos de acumulación de especies, en este caso concreto a través del modelo de *Clench*, resulta de gran utilidad en la evaluación de la duración de los periodos de seguimiento de los pasos de fauna y demás estructuras transversales a la vía. A través de estos modelos se puede obtener información orientativa acerca de la representatividad del control realizado o bien, de cara a la planificación del seguimiento. Este tipo de herramientas, pueden ayudar al establecimiento de protocolos de seguimiento para evaluar la efectividad de estas medidas correctoras, facilitando la definición de los períodos de muestreo (10-15 días), con el fin de optimizar los programas de vigilancia ambiental.

Este análisis *a posteriori* sobre la duración óptima del período de control ha permitido evaluar en cierto modo parte del diseño experimental de esta tesis doctoral. Según el modelo de *Clench* ajustado a los resultados procedentes del seguimiento llevado a cabo en las dos autovías objeto de estudio (A-52 y A-231), en cada una de las estructuras controladas se habrían detectado entre un 60% y un 70% del total de las especies que posiblemente hicieron uso de las mismas. Por lo tanto, se estaría subestimando el uso de estos pasos por parte de los vertebrados. No obstante, el elevado tamaño muestral utilizado en cada una de las campañas de control en sendas autovías, debe contrarrestar en todo caso esta deficiencia, dotando de robustez los análisis realizados y reforzando las conclusiones emitidas a partir de éstos.

Capítulo 5.

Utilización de los pasos de fauna y demás estructuras transversales de la autovía A-52 por los vertebrados terrestres

5.1. INTRODUCCIÓN

Ante la creciente incorporación de medidas correctoras en los proyectos de construcción de infraestructuras viarias (ver revisión de Rosell *et al.*, 2003), cabe preguntarse cuál es la funcionalidad real de las mismas. Dicha funcionalidad debe ser evaluada desde el punto de vista de su efectividad para el movimiento de los vertebrados, por todo ello es importante determinar y valorar las características que determinan su funcionalidad, adecuándolas a la especie o especies que se pretende favorecer.

En esta primera aproximación, se plantean unos objetivos muy básicos, el primero de ellos es determinar qué grupos de vertebrados hacen uso de los pasos en una autovía. Para ello se analiza el uso de pasos específicamente diseñados para la fauna y se incluyen además estructuras funcionales de la vía, en principio diseñadas para otros fines pero que pueden ser importantes para la fauna (Hunt *et al.*, 1987; Yanes *et al.*, 1995; Rodríguez *et al.*, 1996). En segundo lugar se evalúa el peso relativo que tienen los factores de diseño en la utilización de las estructuras por la fauna, puesto que los parámetros estructurales (p.e. amplitud, posición sobre o bajo la vía) de los potenciales pasos de fauna pueden determinar su utilización por las diferentes especies (Olbrich, 1984; Clevenger *et al.*, 2001)

5.2. MATERIAL Y MÉTODOS

5.2.1. Área de estudio

El estudio se realizó en la autovía de las Rías Bajas (A-52), concretamente en el tramo comprendido entre los puntos kilométricos 34+000 y 217+000, que discurre entre las localidades de Camarzana de Tera (Zamora) y Orense (Figura 5.1). Tal y como se ha

presentado con anterioridad en el apartado 2.2.1., la vegetación de los primeros 10 km del tramo, entre las localidades de Camarzana de Tera y Río Negro del Puente, corresponde a encinares continentales, acompañados de jarales, piornales, matorrales bajos (*Cystus laurifolius*, *Halimium umbellatum*, *Thymus mastichina*, *Thymus zygis*, *Lavandula stoechas* subsp. *pedunculata*) y pastizales. También aparecen cultivos, pero éstos se limitan a la zona de vega (maíces, cereales en secano) y a viñedos de reducida extensión en laderas. Los siguientes 45 km, desde la localidad de Río Negro hasta Requejo, el trazado continúa entre parches de melojar, piornales, matorrales bajos (*Genista tridentata*, *Halimium ocymoides*, *H. lasianthum*) y prados húmedos. Los kilómetros restantes, ya en la provincia de Orense, discurren por áreas claramente más boscosas de melojar.

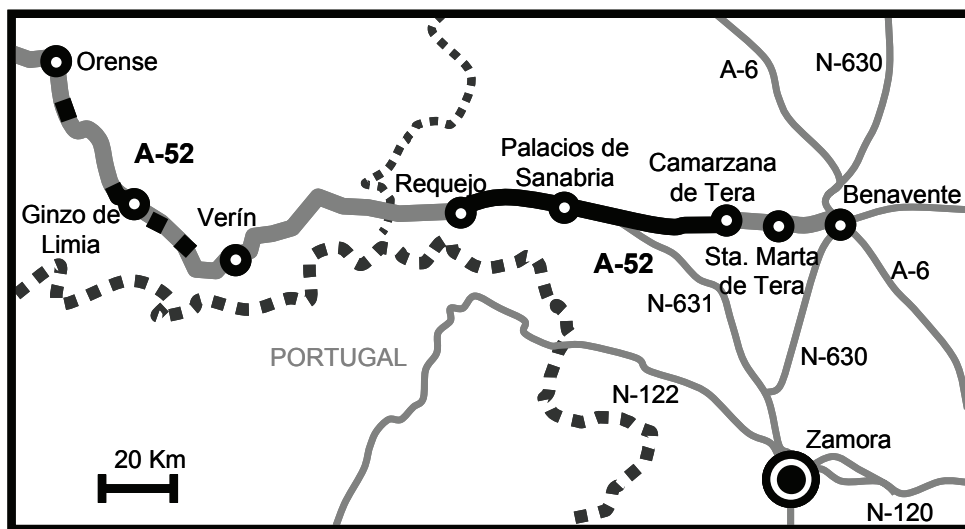


Figura 5.1. Localización del área de estudio. En trazo más grueso se representa la autovía A-52 con los tramos controlados en negro.

5.2.2. Selección de las estructuras objeto de seguimiento

Se realizó el seguimiento de un total de 43 estructuras repartidas a lo largo de 181,95 km de autovía, aunque el tramo de control era de 57 km (Anexo IV). El tramo de control se estableció entre el pk 34+000 y el pk 92+000 seleccionando un total de 39 estructuras, además se incluyeron 4 estructuras que se situaban entre los pk 117+500 y pk 216+300, ya en la provincia de Orense, por tratarse todas ellas de estructuras específicamente diseñadas o adecuadas para la fauna (tres pasos superiores específicos y un drenaje adecuado). En la elección de las estructuras se consideraron dos premisas básicas: (i) incluir todos aquellos pasos diseñados específicamente para la fauna silvestre y (ii) obtener una muestra representativa del conjunto de estructuras transversales presentes en la autovía, que incluyera todos los tipos (Tabla 5.1).

Tabla 5.1. Características básicas de las estructuras sujetas a seguimiento: tipo, número de estructuras controladas (N), dimensiones y función.^a un paso de 72 m , ^b un paso de 96 m

Tipo	N	Dimensiones (m)			Función
		anchura	Altura	longitud	
Drenajes circulares	14	Ø 1.80		35 - 62	drenaje
Drenajes adecuados	7	1,7 - 4	1,7 – 3	36-45	drenaje, adaptado para la fauna
Pasos Inferiores Mixtos	7	4-9	4- 6	32-46 ^a	restituir carreteras y pistas rurales
Pasos Inf. Específicos	5	14 -20	5- 8	30-32,5 ^b	fauna, cerrado a vehículos
Pasos Superiores Mixtos	6	7-7,7	-	58-65	restablecer caminos rurales
Pasos Sup. Específicos	4	14,7 - 20	-	60 - 62	fauna, cerrado a vehículos

5.2.3. Sistema de control y periodo de seguimiento

Se utilizó como método de control del paso de vertebrados el análisis de las huellas dejadas por los animales, empleando el polvo de mármol (marmolina) como superficie de registro. Para aquellos casos en los que la identificación a nivel de especie no fue posible se emplearon los grupos faunísticos definidos en el apartado 2.4.1.1.

Los pasos se revisaron diariamente hasta obtener 10 días válidos de control. El seguimiento de los pasos comprendidos entre el pk 34+000 y el pk 92+000 de la A-52 se llevó a cabo entre la última semana de marzo y la última de abril de 2001. Aquellos localizados en la provincia de Orense se controlaron en la primera quincena de mayo de ese mismo año.

5.2.4. Tratamiento de datos

La unidad básica de análisis, tal y como se describe en el capítulo 2, en el apartado general de tratamiento de datos (2.5) fue el número de días en los que se registraron huellas de una especie (o grupo faunístico) en un paso. De este modo, se minimizan los problemas de pseudoreplicación derivados de contabilizar varios registros de una misma especie en un mismo paso y día. Además, la utilización relativa de cada tipo de estructura por cada una de las especies se evaluó mediante un índice de uso (I.U.) también definido en el apartado 2.5. La comparación de índices de uso entre tipos de pasos se ha realizado mediante el test de Kruskal-Wallis debido al incumplimiento de los requisitos para el uso del ANOVA (Quinn y Keough, 2002).

Los patrones de utilización de las estructuras se analizaron por especies. Para ello, se compararon las frecuencias de cruce de cada una por los diferentes tipos de pasos mediante el test de Kruskal-Wallis debido a la ausencia de normalidad de los datos. Al tratarse de comparaciones múltiples, se aplicó la corrección secuencial de Bonferroni para corregir las probabilidades obtenidas, reduciendo así la probabilidad de cometer error de tipo I. También se analizó la influencia en los patrones de selección de tres variables básicas: la especificidad del diseño (pasos específicos vs. pasos mixtos), la posición respecto a la autovía (pasos inferiores vs. pasos superiores) y la anchura del paso (angostos<2m vs. amplios>2m). Se agruparon los registros de cruce obtenidos en

distintos tipos de paso en función de la comparación y mediante el test de Kruskal-Wallis y la posterior corrección secuencial de Bonferroni, se establecieron las características del diseño que resultaron determinantes en la selección de las estructuras por las especies.

5.3. RESULTADOS

Se detectaron un total de 424 rastros-días pertenecientes a fauna silvestre, lo que equivale al cruce de 0,99 especies por estructura y día. En la práctica totalidad de las estructuras controladas, se registraron vertebrados cruzando por ellas, tan sólo en un paso inferior mixto (pk 85+250) no se obtuvo ningún registro tras los 10 días de control. Por lo tanto, cabe destacar que todos los tipos de estructuras fueron utilizados por la fauna, si bien presentaron diferencias significativas entre éstos (Figura 5.2., $H=12,07$; g.l.:5; $p=0,034$). A excepción de los dos tipos de drenajes, el resto de tipos de pasos presentaron un índice de uso por encima del esperado ($I.U._{esp.}=1$). Los pasos superiores mixtos presentaron el mayor índice de uso ($I.U.=1,5$), mientras que los drenajes circulares y adecuados presentaron índices inferiores al esperado ($I.U.=0,6$ e $I.U.=0,96$ respectivamente).

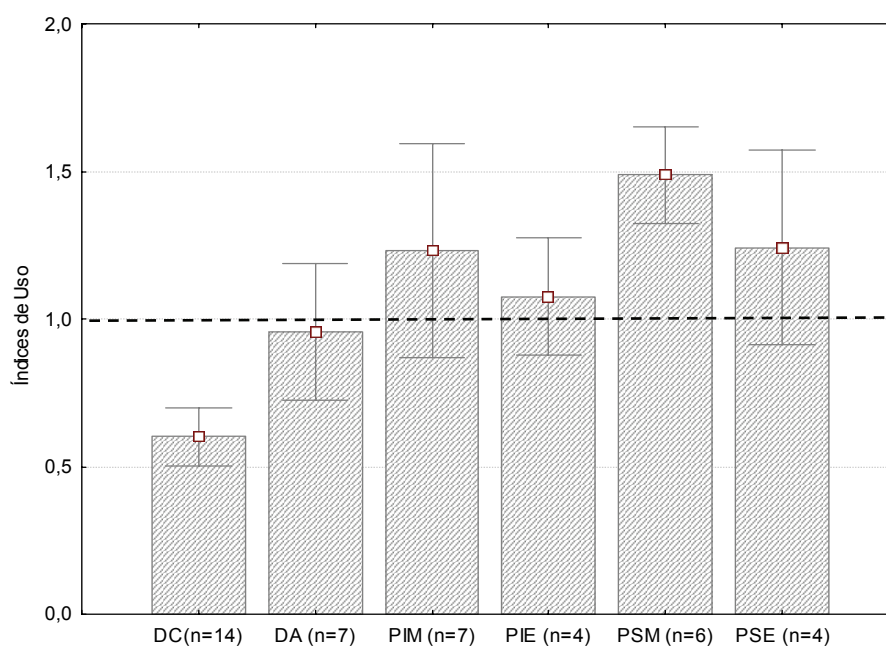


Figura 5.2. Índices de uso detectados en cada uno de los tipos de estructuras en la autovía A-52. Se muestra la Media y Error típico. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto; PSE: paso superior específico. n: número de estructuras controladas.

5.3.1. Especies que hacen uso de las estructuras de paso

Se diferenciaron un total 17 especies-grupos faunísticos haciendo uso de las estructuras de cruce (tabla 5.2 y Anexo IV), siendo el zorro la especie con un mayor número de detecciones (0,27 detecciones/día). A continuación, también con una elevada

frecuencia de cruce resultaron cánidos (perro y lobo) y tejón (0,19 detecciones/día y 0,15 detecciones/día, respectivamente). Otras especies que utilizaron con cierta frecuencia los pasos fueron: gato (0,1 detecciones/día), lagomorfos y ratón, estos dos últimos con similar número de detecciones (0,07 detecciones/día). Con frecuencias algo menores resultaron jabalíes y ratas (0,04 detecciones/día y 0,03 detecciones/día, respectivamente). El resto de las especies mostraron frecuencias muy inferiores (menos de 0,02 detecciones/día).

Los registros derivados de la actividad humana arrojaron una media por estructura de 0,07 rebaños/día, 0,18 personas/día cruzando a pie y 0,08 vehículos/día (ver Anexo IX). No sólo se detectaron evidencias de tránsito humano en los pasos mixtos diseñado a tal efecto, sino que también utilizaron drenajes circulares y adecuados, así como los pasos diseñados específicamente para la fauna. Se detectaron medias por paso específico y drenaje de 0,13 registros/día para cada uno de los tipos. Tanto en los pasos específicos como en los drenajes, la mayoría de los registros se debieron a personas (0,1 personas/paso-día), seguido de ganado (0,01 rebaño/día por paso específico y 0,02 rebaño/día por drenaje). En lo que respecta a los registros ocasionado por vehículos, en los drenajes fue puramente anecdótico, registrándose un único cruce por un drenaje adecuado, mientras que en los pasos específicos el tránsito de vehículos resultó cuanto menos sorprendente, no tanto por el número de registros obtenidos (0,02 vehículos/paso-día), como por el hecho de que está expresamente prohibida su circulación por estos pasos.

Tabla 5.2. Media de registros diarios por tipo de estructura de las especies y grupos específicos en los 10 días de control. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto; PSE: paso superior específico. n: número de estructuras controladas.

	DC n=14	DA n=7	PIM n=7	PIE n=5	PSM n=6	PSE n=4	Media
Especies							
Erizo	-	-	-	-	0,17	-	0,02
Turón	-	0,14	-	0,20	-	-	0,05
Tejón	1	3,14	2,71	1,60	0,17	-	1,49
Gineta	-	-	0,29	-	-	-	0,05
Zorro	1,07	2,43	4,71	3,6	3	3,5	2,67
Corzo	-	-	-	0,4	-	-	0,05
Ciervo	-	-	-	0,4	0,17	-	0,07
Jabalí	-	-	-	0,6	0,67	2,25	0,37
Grupos faunísticos							
Lacértidos	0,36	-	0,14	-	-	-	0,14
Ofidios	-	-	-	-	0	0,25	0,02
Micromamíferos	1,57	0,14	-	-	1	0,25	0,7
Ratas	0,07	0,43	0,14	-	1,33	-	0,3
Mustélidos pequeños	0,29	-	0,14	0,4	0,17	-	0,19
Mustélidos grandes	-	0,14	-	0,2	-	-	0,05
Lagomorfos	-	-	0,43	1,2	1,83	3	0,74
Gatos	0,93	0,57	1,29	0,6	1,67	1	1
Cánidos	0,64	2,43	2,29	1,4	4,5	2	1,95

5.3.2. Estructuras seleccionadas

Un análisis en detalle de la riqueza de especies registrada en cada una de las estructuras (número medio de especies por paso \pm desviación estándar: $3,49 \pm 1,74$), puso de manifiesto diferencias entre los distintos tipos (test de Kruskal-Wallis: $H= 14,55$; g.l.:5; $N: 43$; $p<0,05$). Los máximos valores se registraron en los pasos inferiores específicos con una media de 5 especies diferentes por paso, mientras que los drenajes circulares y adecuados presentaron el mínimo habiendo sido utilizados por una media de 2,4 y 3,0 especies/grupos faunísticos distintos, respectivamente (Figura 5.3).

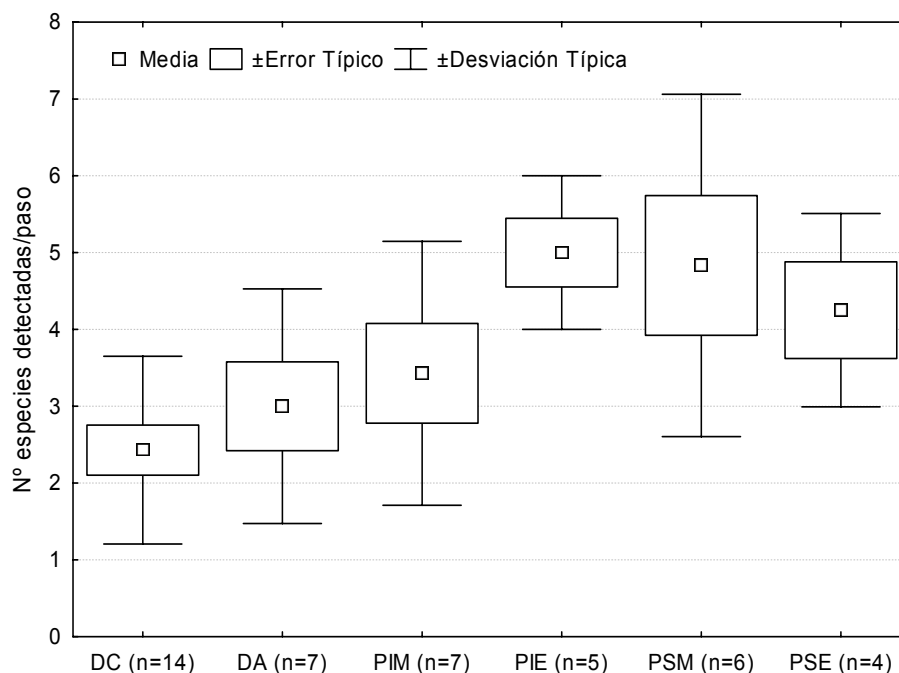


Figura 5.3. Datos medios de especies/grupos faunísticos diferentes detectados mediante el registro de huellas por cada uno de los tipos de estructura. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto; PSE: paso superior específico. n: número de estructuras controladas.

El análisis específico de la utilización de las estructuras mostró un uso diferencial de los diferentes tipos de pasos únicamente en jabalíes (test de Kruskal Wallis, $p < 0,05$ tras la corrección secuencial de Bonferroni; Tabla 5.3).

Tabla 5.3. Resultado de la comparación del uso de los diferentes tipos de estructuras de la autovía A-52 por cada especie. Se muestran los valores de Heterogeneidad y los valores de probabilidad (p) del test Kruskal Wallis (N: 43 y g.l.: 5), marcándose en negrita los que resultan significativos tras aplicar la corrección secuencial de Bonferroni ($p < 0,05$). N: número de registros de la especie en el total de estructuras controladas.

Especies	N	H	p
Erizo	1	6,167	0,2903
Turón	2	5,109	0,4027
Tejón	64	8,650	0,1239
Gineta	2	4,375	0,4968
Zorro	115	11,577	0,0411
Corzo	2	15,571	0,0082
Ciervo	3	6,062	0,3002
Jabalí	16	19,350	0,0017
Grupos faunísticos			
Lacértidos	6	4,672	0,4573
Ofidios	1	9,750	0,0826
Micromamíferos	30	14,700	0,0117
Ratas	13	4,383	0,4956
Lagomorfos	32	17,009	0,0043
Mustélidos pequeños	8	4,194	0,5218
Mustélidos grandes	2	6,027	0,3036
Gatos	43	0,915	0,9692
Cánidos	84	13,422	0,0197

La mayor o menor utilización de los pasos por jabalíes pareció estar significativamente determinada tanto por la posición de la estructura respecto a la calzada, como por la amplitud del paso ($H = 11,4$; g.l. 1; $p > 0,05$ y $H = 7,03$; g.l. 1; $p < 0,05$ respectivamente), cruzando preferentemente por los pasos amplios y superiores (Figura 5.4). La especificidad del diseño mostró un efecto marginalmente significativo en la selección de las estructuras de cruce ($H = 4,93$; g.l.1; $p = 0,03$ aunque $p > 0,05$ cuando se aplica la corrección de Bonferroni).

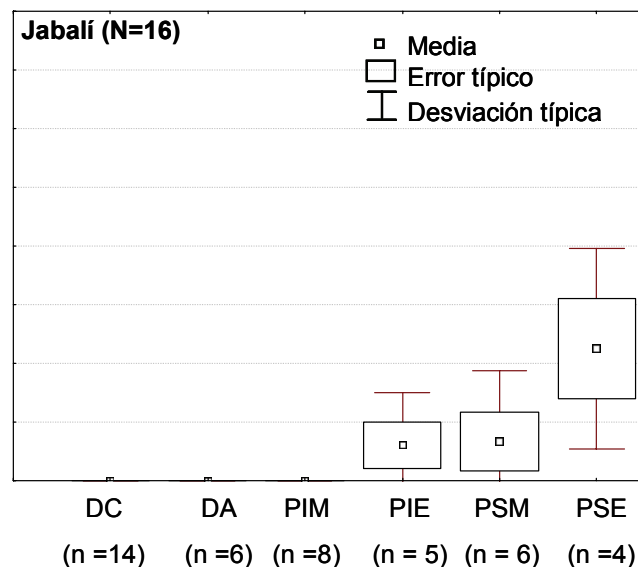


Figura 5.4. Datos medios de frecuentación de jabalíes por cada uno de los tipos de estructura. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico; PSM: paso superior mixto; PSE: paso superior específico. N: número de presencias totales registradas de la especie, n: número de estructuras controladas.

En el resto de especies no se detectó ningún patrón significativo de selección. No obstante, en el grupo de lagomorfos se observó cierto uso diferencial de los pasos con una mayor utilización de los pasos amplios (p significativa sin la corrección de Bonferroni), hecho que quedó reforzado por la ausencia de registros de dicho grupo en los pasos más angostos, es decir en los dos tipos de drenaje. Además, el grupo en el que se englobaron conejos y liebres utilizó con mayor frecuencia los pasos superiores frente a los inferiores (media \pm desviación estándar: I.U. inferiores = $1,09 \pm 0,73$; I.U. superiores = $3,25 \pm 1,11$).

Entre las especies que con mayor frecuencia hicieron uso de los pasos, cabe destacar por un lado, cómo zorros, cánidos y gatos utilizaron todos los tipos, si bien con ciertas diferencias. El zorro cruzó principalmente por los pasos amplios, presentando en todos ellos un índice de uso bastante similar (media \pm desviación estándar: $1,39 \pm 0,28$). Del mismo modo, cánidos y gatos también se valieron de pasos amplios para cruzar la autovía, pero entre éstos cruzaron con mayor frecuencia por los de tipo mixto, independientemente de su posición respecto a la calzada. Por otro lado, el tejón utilizó mayoritariamente los drenajes adecuados (I.U.= $2,11$) y en general, casi de forma exclusiva los pasos inferiores. Señalar también que los micromamíferos, grupo en el que quedaron englobados registros de musarañas, ratones y topillos, seleccionaron preferentemente los drenajes circulares y los pasos superiores mixtos como estructuras de paso (I.U.= $2,25$ e I.U.= $1,43$ respectivamente).

Entre las especies que utilizaron en menor medida los pasos, todos los registros obtenidos de corzo y ciervo se produjeron en pasos amplios. Los dos únicos registros de corzo se encontraron en pasos inferiores específicos, mientras que los rastros de ciervo se hallaron, en una ocasión en un paso superior mixto, y las dos restantes en pasos inferiores específicos.

5.4. DISCUSIÓN

Existen tres aspectos derivados de este estudio que son de resaltar. En primer lugar, se pone de manifiesto el amplio espectro de especies que hicieron uso de las diferentes estructuras de paso de la autovía. A excepción de anfibios, lirones, ratas de agua, topos, galápagos, ardillas y nutrias, se detectó el paso de la mayor parte de los grandes grupos de vertebrados que potencialmente existen en la zona de estudio (Palomo y Gisbert, 2002). La ausencia de datos de anfibios, galápagos, ratas de agua y nutrias posiblemente se deriva de las propias limitaciones de la metodología empleada, ya que se trata de especies muy ligadas al agua. Debido a la propia naturaleza del método de control, resulta imposible controlar aquellos pasos que están completa o parcialmente inundados y que *a priori* pudieran resultar más idóneos para estas especies.

En segundo lugar, destacar que todos los tipos de pasos fueron utilizados por la fauna, tanto aquellos diseñados específicamente para la fauna como los contruidos para otros fines. Salvo en los drenajes, en los que fue menor, los índices de uso mostraron una utilización relativa por encima de la esperada. Pese a ello, no debe olvidarse la relevancia que pueden tener los drenajes por ser las estructuras más comunes en las carreteras y ferrocarriles (ej. un tramo de 91 km de esta autovía presenta 106 drenajes). Dichas

estructuras no representan un coste añadido de construcción dada su función estructural, y facilitan los movimientos de mamíferos de pequeño y mediano tamaño entre ambos lados de la misma (Huijser *et al.*, 1999; Clevenger *et al.*, 2001). Además, los drenajes pueden adaptarse con un pequeño incremento del coste para favorecer a la fauna, tal y como pone en evidencia la intensa utilización de los drenajes adecuados por el tejón. Éste es un caso paradigmático, por cuanto el tejón es una especie con una elevada mortalidad por atropello (Clarke *et al.*, 1998).

Por su parte, los pasos mixtos superiores e inferiores mostraron índices de uso elevados y frecuencias de cruce altas para un abanico amplio de especies, incluyendo zorro, tejón y lagomorfos. En líneas generales, se hace patente la importancia de las estructuras de tipo mixto en la labor de reducción del efecto barrera, al incrementar la permeabilidad de las infraestructuras viarias (Camby y Maizaret, 1987; Yanes *et al.*, 1995; Ng *et al.*, 2004).

En tercer lugar, se ha comprobado que el diseño de las estructuras es determinante en su efectividad, condicionando el paso de unas especies u otras y justificando la inversión en pasos de tipo específico (Ballon, 1985). En nuestro caso, las diferencias entre tipos de pasos llegan a su extremo al confrontar drenajes vs. pasos superiores específicos, pero son patentes en la mayor parte de las comparaciones. De forma simplificada, la amplitud del paso resultó el factor más determinante en la selección de las estructuras por parte de la fauna, hecho detectado también en otros estudios (Foster y Humphrey, 1995; Yanes *et al.*, 1995; Rosell y Velasco, 1999; Veenbaas y Brandjes, 1999). Esta tendencia se manifestó de forma significativa en jabalíes, y de una forma más débil en lagomorfos, zorros, cánidos y gatos, seleccionando todos ellos los pasos más amplios.

La utilización de los pasos por conejos y liebres se mostró fundamentalmente condicionada por la amplitud y la posición de los pasos respecto a la vía. Los pasos superiores resultaron los más utilizados, en consonancia con los resultados presentados por Rosell y Velasco (1999). Además, la frecuencia de uso de los pasos específicos fue entre 1,5 y 3,0 veces mayor en los de diseño específico para la fauna frente a los de tipo funcional de la vía de similar ubicación respecto a la carretera.

Los resultados obtenidos para los jabalíes, y para los ungulados de forma más general, apoyan la importancia de construir pasos grandes y específicamente diseñados para la fauna. En este sentido, resulta destacable que las frecuencias de cruce de jabalí en este trabajo son más altas que las obtenidas en estudios previos (Rodríguez *et al.*, 1996; Rosell *et al.*, 1997). La amplitud y la posición de la estructura respecto a la calzada resultaron determinantes en la selección de los pasos por jabalíes, que utilizaron principalmente los pasos superiores, de forma concordante con lo observado en Francia (Vassant *et al.*, 1993). Estos resultados contrastan con los ofrecidos por Rosell y Velasco (1999) en carreteras de Cataluña (NE España), donde sólo se observó el uso de pasos inferiores. Además, la intensidad de uso de los pasos superiores específicos por el jabalí fue muy superior a la de los pasos superiores mixtos, y la especie utilizó también los pasos inferiores específicos pero no los pasos inferiores mixtos. Aunque con un número de observaciones mucho más reducido, la detección prioritaria de ciervo en pasos inferiores específicos y de corzo únicamente en ellos refuerzan la relevancia que tienen los pasos específicos para este grupo taxonómico (Olbrich, 1984; Putman, 1997).

Por otro lado, los resultados para otras especies mantienen la tendencia al uso prioritario de pasos amplios si bien de forma menos clara. Así, destaca la elevada frecuencia de paso obtenida para el zorro en todos los tipos de estructuras, aunque con una mayor utilización de los pasos amplios e inferiores (véase Trehwella y Harris, 1990; Rodríguez *et al.*, 1997). La tendencia presentada por cánidos y gatos a cruzar principalmente por los pasos amplios, y entre ellos por los de tipo mixto, puede deberse a la presencia de registros procedentes de gatos y perros domésticos y asilvestrados además de los relativos a ejemplares silvestres. Estas especies son mucho más abundantes en las zonas urbanizadas, próximas a las cuales es habitual encontrar estructuras de tipo mixto.

En resumen, la totalidad de los registros de ungulados y buena parte de los obtenidos para especies de tamaño medio y grande se observaron en pasos amplios, mientras que los correspondientes a mustélidos de tamaño pequeño y micromamíferos se encontraron principalmente en drenajes. Estos resultados parecen apuntar hacia una relación entre el tamaño de las especies y la amplitud del paso seleccionado. Sin embargo, especies de tamaño medio como el tejón parecen no responder a dicha relación, haciendo un uso preferente de los pasos inferiores a la autovía, sin importar el tamaño de éstos, hecho que concuerda con los datos obtenidos por Broekhuizen *et al.* (1986) y que parecen responder más a patrones comportamentales, al tratarse de una especie habituada a moverse por túneles (Blanco, 1998).

Para el resto de las especies los resultados fueron insuficientes para establecer patrón de selección alguno, apuntando simplemente a posibles tendencias que, sin duda, ponen de manifiesto la necesidad de un análisis más profundo, a partir del cual se obtenga un mejor conocimiento de la utilización de los diferentes tipos de estructuras por los vertebrados y permita el establecimiento de conclusiones firmes.

5.5. CONCLUSIONES

Como resultado de esta primera aproximación a la utilización de las estructuras transversales a la autovía A-52 por parte de los vertebrados se debe destacar: en primer lugar, el elevado número de especies que se detectaron haciendo uso de las distintas estructuras y, en segundo, que todos los tipos de estructuras fueron utilizados, incluso aquellas estructuras no diseñadas específicamente para la fauna. Por lo tanto, debe resaltarse la importancia de las estructuras de tipo mixto, que, en definitiva, contribuyen a mejorar la permeabilidad de la vía, minimizando así el efecto barrera de ésta sobre las poblaciones de vertebrados.

En líneas generales y atendiendo a los resultados, se perfila cierta relación directa entre el tamaño de la especie y el paso seleccionado. No hay que olvidar que este análisis es un primer acercamiento que ha servido para conocer qué especies hacen uso de las estructuras de paso de la autovía, y sin duda pone de manifiesto la necesidad de un estudio de mayor intensidad y duración para profundizar en los patrones de selección generales de las especies y conocer los factores que determinan dicha selección.

Capítulo 6.

Patrones de selección en la utilización de los pasos

6.1. INTRODUCCIÓN

Una vez comprobada la utilización de los distintos tipos de estructuras por parte de numerosas especies, ineludiblemente se plantea una nueva cuestión, la de determinar si dichas estructuras son utilizadas indistintamente, cruzando simplemente por aquellas que estén más próximas a sus áreas de campeo, o si por el contrario, existe una selección y muestran un patrón de uso.

Por todo ello, en esta segunda fase de la investigación se planteó con el objeto de realizar un análisis integrado de la influencia ejercida por los factores estructurales, de entorno y de actividad humana sobre el uso de las estructuras de cruce de las carreteras por la fauna. Por una parte, los parámetros estructurales (ej. amplitud, longitud, posición sobre o bajo la vía) de los potenciales pasos de fauna pueden determinar su utilización por las diferentes especies (Olbrich, 1984; Clevenger *et al.*, 2001). Por otra parte, las características paisajísticas del entorno (distancia a cobertura arbórea, vegetación) y la perturbación humana pueden resultar determinantes del uso o no de ciertas estructuras por la fauna (Rodríguez *et al.*, 1997; Malo *et al.*, 2004). Hasta el momento la mayor parte de los estudios han mostrado la importancia de los factores estructurales, si bien son minoría los casos en que se ha abordado conjuntamente el análisis de ambos grupos de factores (Rosell *et al.*, 1997; Ng *et al.*, 2004; Clevenger y Waltho, 2005). De hecho, el papel de la frecuentación humana en el uso de las estructuras por los vertebrados es uno de los puntos peor conocidos (Forman *et al.*, 2003). En este sentido ha de tenerse en cuenta que la importancia relativa del diseño, la ubicación y la frecuentación humana resulta clave a la hora de diseñar las medidas correctoras para una nueva carretera, ya que determina el óptimo de número y tipo de pasos con que debe contar para compatibilizar la infraestructura con la conservación de los vertebrados existentes en el territorio que atraviesa.

Los objetivos concretos de esta fase de la investigación fueron: (i) analizar el uso que hacen los vertebrados terrestres de las estructuras transversales existentes en la autovía A-52, incluyendo los diferentes tipos de estructuras existentes en la misma, y (ii) evaluar

el peso relativo que tienen los factores de diseño frente a los de entorno y a la frecuentación humana en la utilización de las estructuras por la fauna.

6.2. MATERIAL Y MÉTODOS

6.2.1. Área de estudio

Este trabajo se llevó a cabo en el tramo comprendido entre las proximidades de Benavente y Puebla de Sanabria (pk 2+750 a pk 74+250) de la Autovía A-52 (Figura 6.1). Los cultivos de secano, intercalados con bosquetes dominados por encinas y jaras, dominan el paisaje en los primeros 20 km del tramo. La vegetación de los siguientes 30 km es un mosaico de encinares continentales con matorral, alternando jarales y escobonales (*Cytisus multiflorus*, *C. scoparius*) y pastizales de *Agrostis castellana*, con una pequeña proporción de cultivos. Los últimos kilómetros del tramo discurren entre un mosaico de melojar (*Quercus pyrenaica*), matorrales altos de *Cytisus* spp. y *Adenocarpus complicatus*, matorrales bajos (*Genista tridentata*, *Halimium ocymoides*, *H. lasianthum*) y prados húmedos.

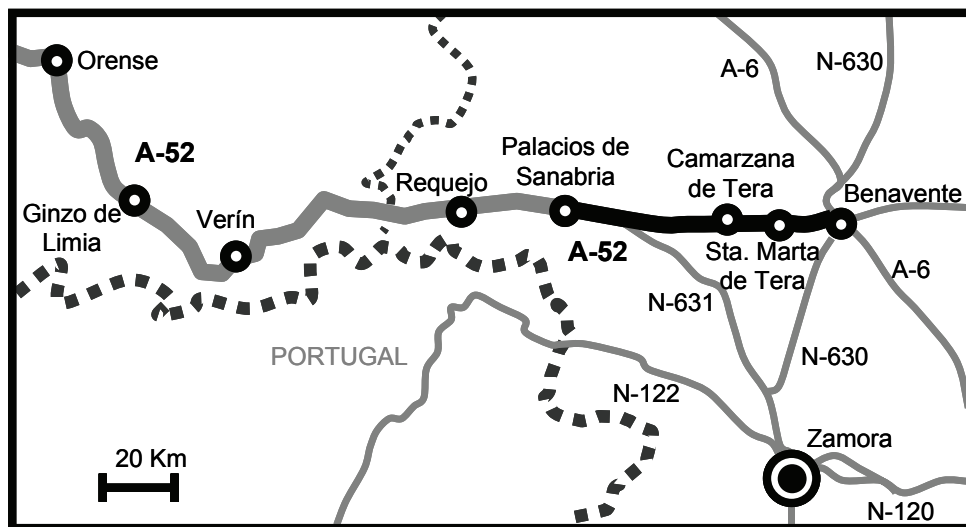


Figura 6.1. Localización del área de estudio. En trazo más grueso se representa la autovía A-52 con los tramos controlados en negro.

6.2.2. Selección de las estructuras objeto de seguimiento

A lo largo de los 71,5 kilómetros que constituían el tramo controlado se seleccionaron un total de 82 estructuras transversales para el seguimiento de su uso por los vertebrados terrestres (Anexo V). En la selección de las estructuras se consideraron las premisas generales establecidas (apartado 2.3.5.), incluyéndose (i) todos los pasos de diseño específico para la fauna y (ii) una presencia relativamente equilibrada de todos los tipos (Tabla 6.1).

6.2.3. Sistemas de control y periodo de seguimiento

El seguimiento del uso de las estructuras de paso por los vertebrados se realizó mediante el control de huellas y rastros. Se utilizó polvo de mármol (marmolina) como superficie de registro, siguiendo el protocolo definido (apartado 2.4.1.) para la instalación de las bandas de marmolina en cada paso y el posterior control rutinario. Así mismo, se mantuvieron los grupos faunísticos definidos (apartado 2.4.1.) para las especies cuyas huellas estaban sujetas a confusión.

El control de las estructuras se llevó a cabo entre finales de junio y primeros de septiembre de 2002, siendo cada paso revisado a diario hasta obtener 10 días válidos.

Complementariamente, en 47 estructuras se instaló un sistema fotográfico a fin de conocer la identidad de las especies cuyas huellas era imposible distinguir a nivel específico. No obstante, algunos de los grupos faunísticos establecidos para la identificación de las huellas se mantuvieron debido a que por el tamaño del animal la identificación de la especie no fue posible. Los grupos que se conservaron fueron el de los anfibios, reptiles, micromamíferos y ratas. El sistema fotográfico utilizado fue específicamente diseñado para este estudio y tal como se detalla en el apartado 2.4.2, consta de una cámara fotográfica digital (Sanyo ® VPC R1) activada mediante un controlador por un sistema de sensores activos compuesto por un emisor de infrarrojos y dos receptores dispuestos a ras de suelo y a 20 cm. sobre el mismo.

Tabla 6.1. Características básicas de las estructuras sujetas a seguimiento: tipo, número de estructuras controladas (N), dimensiones y función.

^a dos pasos de 150 m , ^b un paso de 96 m

Tipo	Sistema de control		Dimensiones (m)			Función
	Huellas N	Fotos N	anchura	altura	longitud	
Drenajes circulares	33	16	Ø 1.80		36 -80	Drenaje
Drenajes adecuados	10	5	2,0 - 3	2	35-50 ^a	Drenaje, adaptado para la fauna
Pasos Inferiores Mixtos	14	9	4-9,0	4- 6,0	32-66	Restituir carreteras y pistas rurales
Pasos Inf. Específicos	7	6	20	5- 7,0	30-36 ^b	Fauna, cerrado a vehículos
Pasos Superiores Mixtos	16	9	7-7,7	-	58-70	Restablecer caminos rurales
Pasos Sup. Específicos	2	2	16	-	60	Fauna, cerrado a vehículos

6.2.4. Tratamiento de datos

La unidad de análisis considerada fue el número de días en que se registraron huellas de la especie (o grupo faunístico) en un paso. Para el análisis de los resultados fotográficos se utilizó el mismo procedimiento, definiendo como contacto al total de imágenes obtenidas de una misma especie en un mismo día, independientemente del

número de ellas. De este modo, se evitan los problemas de pseudorreplicación asociados con la posibilidad de contabilizar varios registros de una misma especie en un mismo paso y día. Además, la utilización relativa de cada tipo de estructura por cada una de las especies se evaluó mediante un índice de uso (I.U.) definido en el apartado 2.5.

Los patrones generales de uso de las estructuras por las especies se analizaron mediante un Escalado Multidimensional (MDS, STATISTICA 5.1, Statsoft 1998), procedimiento que permite ordenar en un espacio de pocas dimensiones los casos (pasos) por la similitud de las observaciones (registro/contacto de la especie-días) obtenidas en ellos. Basándose en los valores de ajuste obtenidos (*stress*) se optó por la utilización de la solución en tres dimensiones para los registros de huellas, y en dos dimensiones para los contactos fotográficos.

Una vez realizada la ordenación, la existencia de tendencias de variación significativas entre las estructuras se analizó mediante un MANCOVA aplicado a sus coordenadas en los ejes del MDS. En el MANCOVA se introdujo el tipo de paso como factor fijo (variable independiente) y cuatro covariantes: (1) la distancia en metros a la cobertura arbórea o arbustiva más próxima desde las embocaduras del paso; (2) la actividad humana medida como la suma del número de personas, vehículos y rebaños de ganado contabilizados en el paso durante los 10 días (ver anexo IX); (3) la distancia en metros a zonas urbanizadas y (4) la posición del paso en el gradiente ambiental atravesado por la carretera (medida por el pk). Este procedimiento sirvió para independizar los efectos y comprobar si existían diferencias de uso de las estructuras asociadas al tipo de paso, la vegetación próxima al paso, la perturbación antrópica, y/o a un cambio en la fauna vertebrada asociada al gradiente geográfico abarcado en el estudio. La significación de las diferencias entre tipos de paso vino dada directamente por el MANCOVA, mientras que la influencia ejercida por cada una de las covariantes se evaluó mediante el estadístico *t* aplicado al coeficiente beta del vector suma geométrica de sus componentes x, y, z (Quinn y Keough, 2002).

Las diferencias entre los niveles del factor se analizaron a posteriori enfrentándolos por pares en MANCOVAs sucesivos y corrigiendo la probabilidad obtenida mediante la corrección secuencial de Bonferroni (Rice, 1989). Por último, se establecieron las especies más explicativas a la hora de interpretar las posiciones en las tres dimensiones (x,y,z) del MDS mediante correlaciones de Spearman, seleccionando aquellas especies que mantenían valores de $p < 0,05$ tras aplicar la corrección de probabilidad secuencial de Bonferroni. El análisis de la riqueza específica por tipo de paso se llevó a cabo mediante un test no paramétrico por la ausencia de normalidad de los datos. Se utilizó el test de Kruskal-Wallis.

Una vez establecidos los patrones generales, se analizaron los patrones interespecíficos de utilización de las estructuras. Para ello, se compararon las frecuencias de cruce de cada especie por los diferentes tipos de pasos mediante el test de Kruskal-Wallis debido a la ausencia de normalidad de los datos. Posteriormente, se analizó la influencia en los patrones de selección de tres variables básicas: la especificidad del diseño (pasos específicos vs. pasos mixtos), la posición respecto a la autovía (pasos inferiores vs. pasos superiores) y la anchura del paso (angostos <2m vs. amplios >2m). En este caso, se agruparon los registros de cruce obtenidos en distintos tipos de paso en función de la

comparación y también se aplicó el test de Kruskal-Wallis para determinar las características del diseño que resultaron determinantes en la selección de las estructuras por estas especies. Al tratarse de comparaciones múltiples, en cada caso se aplicó la corrección secuencial de Bonferroni para corregir las probabilidades obtenidas.

6.3. RESULTADOS

Se detectaron un total de 1.122 rastros-días, lo que equivale al cruce de 1,37 especies por estructura y día. El seguimiento fotográfico simultáneo produjo 3.468 imágenes correspondientes a la detección de 285 especies-día cruzando la autovía y a una media diaria por estructura de 0,61 especies.

Al igual que en la campaña primaveral del año anterior, en esta nueva campaña todos los tipos de estructuras fueron utilizados por la fauna. Se detectaron similares índices de uso en todos los tipos, salvo en los pasos superiores específicos. No obstante, los resultados mostraron cierta variación en función del método de control empleado, especialmente marcada en los pasos superiores mixtos (Figura 6.2). Los pasos superiores específicos presentaron el menor índice de uso con ambos métodos ($I.U. = 0,6$). Mediante el registro de huellas los pasos inferiores, tanto mixtos como específicos, y los pasos superiores mixtos presentaron el índice de uso más alto ($I.U._{\text{marmolina}} = 1,1$ para los tres tipos) y por debajo de éstos resultaron los dos tipos de drenajes ($I.U._{\text{marmolina}} = 0,96$ para los drenajes adecuados e $I.U._{\text{marmolina}} = 0,92$ para los drenajes circulares). Además, en 81 de las estructuras controladas se hallaron huellas de vertebrados, sólo en un paso inferior mixto (pk 68+050) no se registró el paso de ninguna especie. Según los registros del sistema fotográfico, las estructuras más utilizadas por los vertebrados fueron los pasos inferiores específicos ($I.U._{\text{fotos}} = 1,4$). Por el contrario, las menos frecuentadas por la fauna fueron los pasos superiores mixtos ($I.U._{\text{fotos}} = 0,5$) junto con los ya mencionados pasos superiores específicos. El resto de tipos presentaron índices de uso alto por encima de la unidad, el valor esperado.

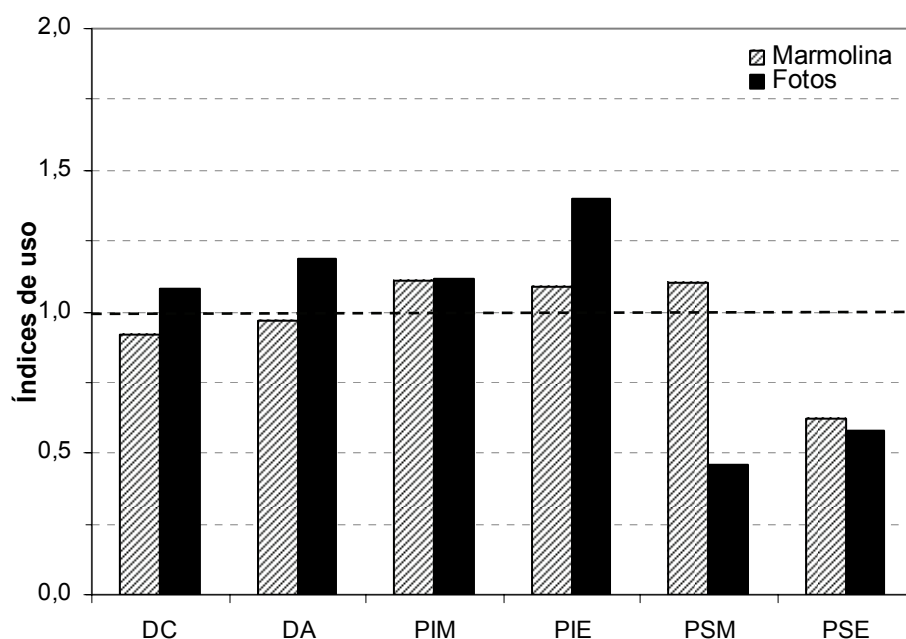


Figura 6.2. Índices de uso detectados mediante los dos sistemas de control en cada uno de los tipos de estructuras en la autovía A-52. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto; PSE: paso superior específico.

6.3.1. Especies que hacen uso de las estructuras de paso

A través de los rastros de marmolina se detectó la utilización de las estructuras de cruce de la autovía por 17 especies/grupos taxonómicos (Tabla 6.2.), siendo los micromamíferos los detectados más frecuentemente (0,5 detecciones/día), seguido de lagomorfos (0,19 detecciones/día), cánidos y zorro (ambos con 0,17 detecciones/día). Lacértidos, tejones y gatos fueron detectados con frecuencias algo menores (entre 0,09 y 0,05 detecciones/día), mientras que el resto de las especies se registraron con frecuencias muy inferiores (por debajo de 0,03 detecciones/día). Además, se contabilizó una media por estructura de 0,02 rebaños/día, 0,31 personas/día cruzando a pie y 0,34 vehículos/día.

Los resultados obtenidos mediante el sistema fotográfico fueron fiel reflejo de los procedentes del registro de huellas, eso sí, en proporciones diferentes por tratarse de una muestra más pequeña y con la salvedad de que con este sistema se pudieron identificar más especies. Mediante los contactos fotográficos se detectaron un total de 14 especies y 5 grupos faunísticos (Tabla 6.3). Los micromamíferos fueron el grupo que con mayor frecuencia utilizó los pasos (0,16 contactos/día). A continuación, con frecuencias similares, se registraron perro, liebre, zorro y gato doméstico (0,07-0,06 contactos/día). El resto de especies mostraron una frecuencia de uso por debajo de 0,05 contactos/día.

Tabla 6.2. Media de registros diarios por tipo de estructura de las especies y grupos específicos a lo largo de los 10 días de control mediante el registro de huellas. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico; PSM: paso superior mixto; PSE: paso superior específico. n: número de estructuras controladas. (*) Para la actividad humana se utilizó el total de registros (en lugar de detección-día) por estructura en los 10 días.

	DC n=33	DA n=10	PIM n=14	PIE n=7	PSM n=16	PSE n=2	Media
Especies							
Erizo	0,06	-	0,29	0,86	-	-	0,15
Lirón	0,03	-	-	-	-	-	0,01
Ardilla	-	0,10	-	-	-	-	0,01
Tejón	0,15	1,70	0,50	1,57	-	-	0,49
Gineta	0,03	-	-	0,29	-	-	0,04
Zorro	0,79	1,80	3,43	3,14	1,44	-	1,67
Ciervo	-	-	0,21	-	-	2,0	0,09
Grupos faunísticos							
Anuros	0,24	1,20	0,36	0,14	0,13	-	0,34
Lacértidos	1,49	1,00	0,07	0,86	0,38	0,5	0,89
Ofidios	0,03	0,50	0,07	-	0,13	-	0,11
Micromamíferos	6,76	4,60	2,50	0,71	6,44	1,0	5,05
Ratas	0,3	0,20	0,21	0,14	-	-	0,2
Ratas de agua	0,12	0,60	-	-	-	-	0,12
Mustélidos pequeños	0,67	0,30	-	-	-	-	0,31
Lagomorfos	0,46	0,10	3,43	4,71	3,25	4,5	1,93
Gatos	0,64	0,40	0,64	0,71	0,44	-	0,56
Cánidos	0,82	0,70	3,43	1,71	2,94	0,5	1,73
Actividad humana*							
Personas	0,03	0,7	4,86	0,86	10,25	3,0	3,07
Ganado	0,03	-	0,57	-	0,56	-	0,22
Vehículos	-	-	7,93	0,43	10,06	1,5	3,39

Tabla 6.3. Media de registros diarios por tipo de estructura de las especies y grupos específicos a lo largo de los 10 días de control mediante el sistema fotográfico.

	DC n=16	DA n=5	PIM n=9	PIE n=6	PSM n=9	PSE n=2	Media
Especies							
Erizo	0,13	-	0,22	0,33	-	-	0,13
Lirón	0,13	-	-	-	-	-	0,04
Ardilla	-	0,2	-	-	-	-	0,02
Comadreja	0,69	0,2	-	-	-	-	0,26
Tejón	0,19	0,6	1,33	1,17	-	-	0,53
Gineta	0,06	-	-	0,50	-	-	0,09
Conejo	-	-	0,44	2,17	0,22	0,5	0,43
Liebre	-	-	1,33	0,50	1,22	2,0	0,64
Gato doméstico	0,38	1,0	0,56	0,83	0,56	-	0,55
Gato montés	-	-	-	0,17	-	-	0,02
Zorro	0,56	0,2	0,78	1,67	0,22	-	0,62
Perro	0,31	0,4	1,44	1,17	0,33	1,0	0,68
Lobo	-	-	-	-	0,11	-	0,02
Ciervo	-	-	0,22	-	-	-	0,04
Grupos faunísticos							
Anuros	0,06	0,4	-	-	-	-	0,06
Lacértidos	0,31	-	-	-	-	-	0,11
Ofidios	0,30	5,0	0,71	-	1,25	-	1,01
Micromamíferos	3,56	3,00	0,22	-	0,11	-	1,60
Ratas	-	-	0,22	-	-	-	0,04
Ratas de agua	0,19	1,2	-	-	-	-	0,19
Actividad humana							
Personas	0,13	0,2	4,67	0,83	4,56	3,0	2,06
Ganado	0,06	-	1,67	-	1,44	-	0,62
Vehículos	-	-	3,22	0,33	3,00	0,5	1,26

6.3.2. Estructuras seleccionadas: patrones generales detectados mediante el control de huellas

La riqueza específica media registrada por paso ascendió ligeramente con respecto a la campaña anterior (número medio de especies por paso \pm desviación estándar: $4,11 \pm 1,38$), manteniéndose las diferencias entre tipos de paso (Figura 6.3.; test de Kruskal-Wallis: $H= 14,04$; g.l.:5; $N: 82$; $p<0,05$). Una vez más, en los pasos inferiores específicos se registró el mayor número medio de especies diferentes (5,14 especies por paso en los 10 días de control). Por el contrario, la diversidad registrada en los pasos superiores específicos fue la más baja (2,5 especies por paso). No obstante, las comparaciones a posteriori entre tipos, tras aplicar la corrección secuencial de Bonferroni, no reflejaron diferencias significativas.

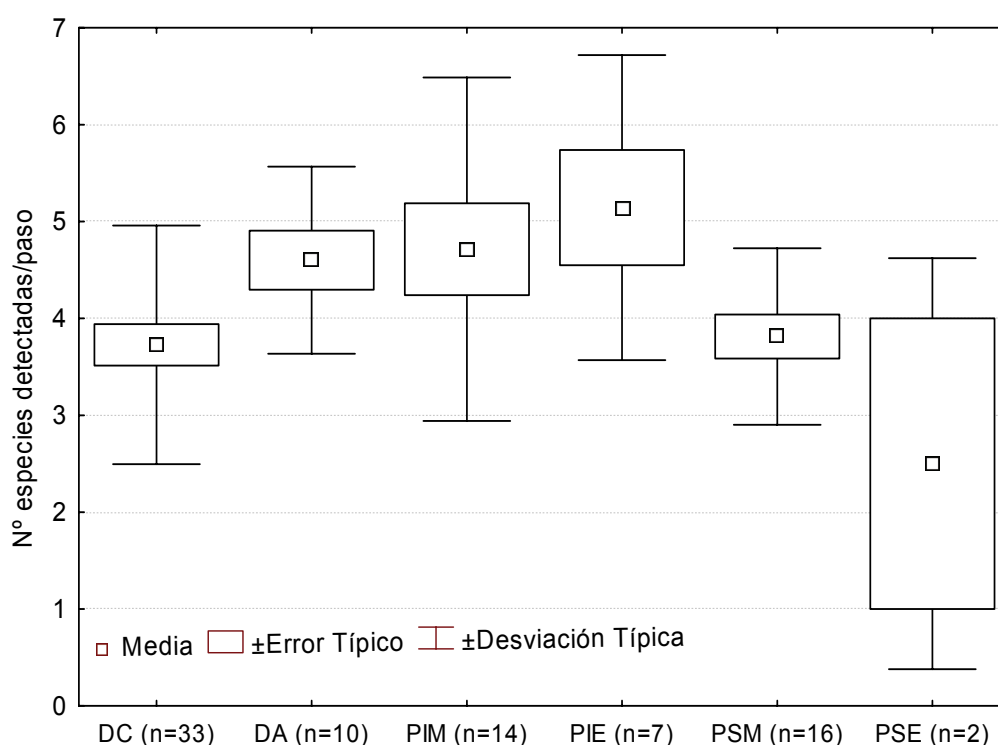


Figura 6.3. Datos medios de especies/grupos faunísticos diferentes detectados mediante el registro de huellas por cada uno de los tipos de estructura. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto; PSE: paso superior específico. n: número de estructuras controladas.

En la representación final mediante el MDS de las 82 estructuras transversales en función de las especies que las utilizaron, se observó cierta segregación en la ubicación espacial de los diferentes tipos de estructuras (Figura 6.4), que posteriormente fue confirmada por el MANCOVA llevado a cabo sobre sus posiciones (Tabla 6.4). El factor tipo de paso, una vez eliminado el efecto de las covariantes, resultó altamente significativo (MANCOVA test, $p<0,001$).

Tabla 6.4. Resultados del MANCOVA sobre el efecto del tipo de paso y la combinación de cuatro covariantes (pk, distancia a cobertura arbórea o arbustiva, intensidad de la actividad humana y distancia a zonas urbanizadas), sobre la posición de las estructuras en los ejes x, y, z del MDS que sintetiza los patrones de variabilidad de uso de las mismas por los vertebrados (Figura 6.4). Análisis basados en el sistema de registro de huellas.

Factores	λ de Wilks	g.l.1	g.l.2	<i>p</i>
Tipo	0,348	15	193	<0,001
Covariantes	0,658	12	185	0,003

El análisis a posteriori de las diferencias entre tipos de paso (Tabla 6.5) puso de manifiesto que (i) los vertebrados que cruzaron a través de los drenajes circulares resultaron significativamente distintos de los que lo hicieron a través de cualquier otro tipo de estructura, a excepción de los drenajes adecuados, (ii) la fauna que utilizó los pasos superiores mixtos resultó significativamente distinta de la que cruzó a través de drenajes y pasos inferiores, tanto de tipo normal como específicos para la fauna, y (iii) los pasos inferiores mixtos mostraron también una fauna significativamente distinta de aquella que utilizó los drenajes adecuados.

Tabla 6.5. Resultado del análisis de comparación *a posteriori* de las diferencias existentes entre tipos de paso en la fauna detectada mediante el registro de huellas cruzando por los mismos sintetizada mediante su posición en los ejes x, y, z del MDS. Se presentan el valor de la λ de Wilks (línea superior) y la probabilidad asociada a la misma (línea inferior) correspondientes a los MANCOVAs de comparación por pares, señalándose en negrita las probabilidades que resultan significativas ($p < 0.05$) tras la corrección secuencial de probabilidad de Bonferroni. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto; PSE: paso superior específico

	PSE	PSM	PIE	PIM	DA
DC	0,615 0,002	0,578 <0,001	0,413 <0,001	0,411 <0,001	0,817 0,051
DA	0,477 0,138	0,429 <0,001	0,584 0,082	0,469 0,002	
PIM	0,742 0,330	0,586 0,003	0,791 0,277		
PIE	0,262 0,117	0,365 <0,001			
PSM	0,439 0,011				

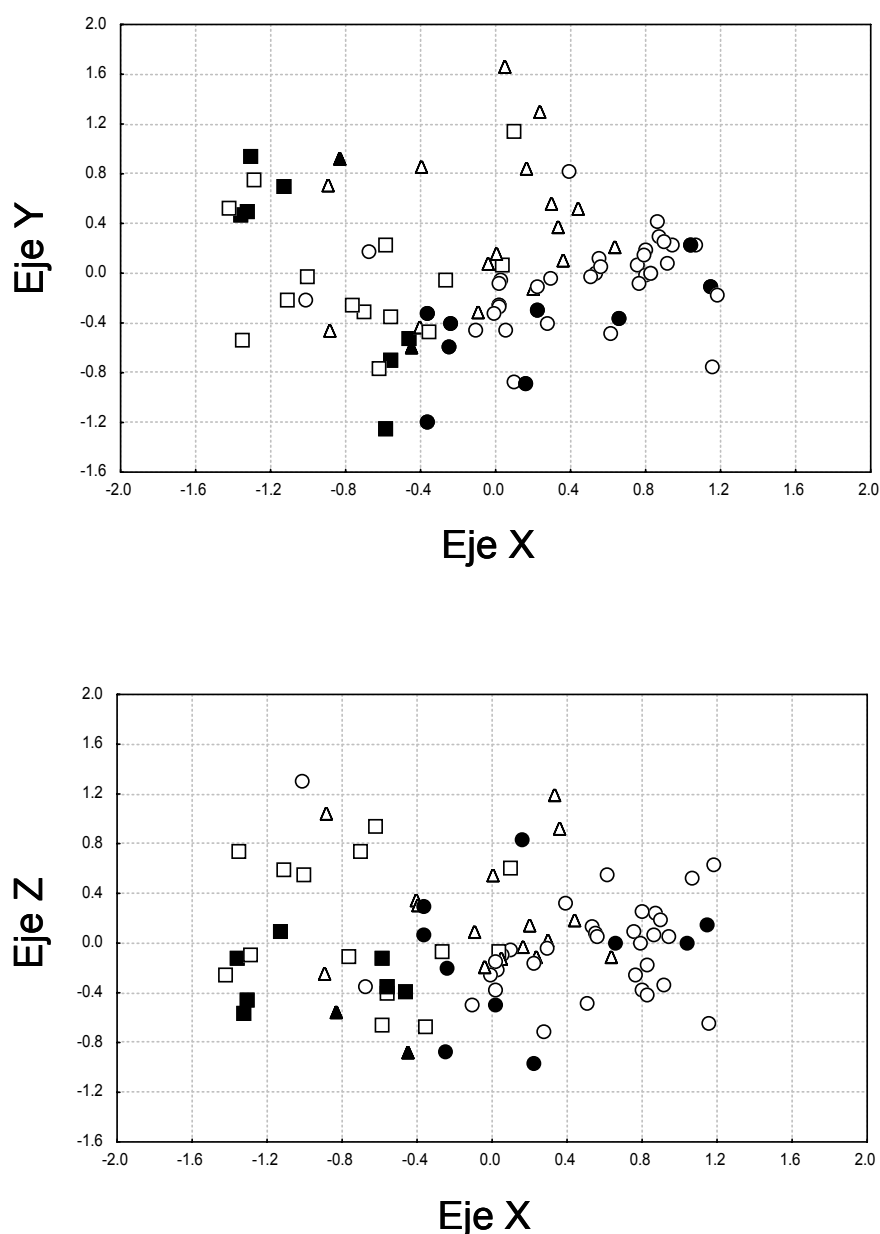


Figura 6.4. Resultado del Escalado multidimensional (eje x- vs. eje y- y eje x- vs. eje z-) realizado para sintetizar la fauna detectada mediante el registro de huellas cruzando por las estructuras transversales a la autovía. Se diferencian los distintos tipos de estructuras analizadas: drenajes circulares (○), drenajes adecuados (●), pasos inferiores mixtos (□), pasos inferiores específicos (■), pasos superiores mixtos (△) y pasos superiores específicos (▲).

Esta ubicación diferencial de los tipos de pasos de fauna en el MDS se interpretó mediante las correlaciones entre especies y ejes del análisis. Los valores negativos en el eje x se asociaron significativamente con la presencia de lagomorfos, zorros y cánidos (correlación de Spearman, $p < 0.05$ tras la corrección secuencial de Bonferroni), apareciendo en esta parte del eje los pasos inferiores específicos y mixtos, y los pasos superiores específicos (Tabla 6.6). Por el contrario, los valores positivos del eje x se correlacionaron significativamente con lacértidos, micromamíferos y pequeños mustélidos,

y en esta parte del eje se situaron principalmente los drenajes circulares. Los valores positivos del eje y se asociaron significativamente con los micromamíferos y lagomorfos, encontrándose en esa zona los pasos superiores mixtos, mientras que los drenajes adecuados se situaron en la parte negativa de este eje. Por último, los valores positivos del eje z se correlacionaron con micromamíferos, zorro y cánidos, siendo destacable únicamente la ubicación de los pasos superiores específicos en la parte negativa del eje z.

Tabla 6.6. Posiciones medias de los ejes x- y- z- del Escalado multidimensional para cada tipo de paso a partir de los registros de huellas.

	x	y	z
Drenajes circulares	0,488	-0,053	-0,034
Drenajes adecuados	0,202	-0,421	-0,118
Pasos inferiores mixtos	-0,707	-0,022	0,129
Pasos inferiores específicos	-0,963	0,017	-0,271
Pasos superiores mixtos	0,005	0,366	0,240
Pasos superiores específicos	-0,635	0,149	-0,728

La fauna detectada cruzando en los pasos varía de forma significativa (Tabla 6.7; test de la t, $p < 0,01$). Esta variación se produce a lo largo del gradiente geográfico atravesado por la autovía, aumentando de Este a Oeste la presencia de pequeños mustélidos, lacértidos y tejones y disminuyendo la de gatos, lagomorfos y erizos. Por el contrario, la frecuentación humana de los pasos, medida a través del índice de utilización humana, y la distancia a la cobertura arbórea no alteraron significativamente el uso de cada tipo de paso por la fauna. Además, existe un efecto marginalmente significativo ($0,05 < p < 0,1$) de la proximidad de los pasos a los pueblos o zonas urbanizadas.

Tabla 6.7. Resultados del test de la t de la significación individual de las covariantes incluidas en el MANCOVA realizado sobre la posición de las estructuras en los ejes x, y, z del MDS que sintetiza los patrones de variabilidad de uso las mismas por los vertebrados detectados mediante el registro de huellas en la marmolina.

Covariantes	β -value	t	g.l.	p
Localización (pk)	0,0125	2,573	72	0,006
Distancia a cobertura arbustiva	0,0002	0,421	72	0,337
Actividad humana	0,0109	0,731	72	0,234
Distancia a zonas urbanizadas	0,0002	1,333	72	0,093

6.3.3. Estructuras seleccionadas: patrones generales detectados mediante el control fotográfico

La ordenación MDS de las 47 estructuras controladas con el sistema fotográfico también permitió distinguir cierta distribución espacial en función del tipo de paso. Aunque visualmente no resultó tan evidente esta ubicación diferencial (Figura 6.5), el posterior MANCOVA realizado sobre sus posiciones (x, y) la confirmó, siendo el factor tipo de paso significativo (Tabla 6.8).

Tabla 6.8. Resultados del MANCOVA sobre el efecto del tipo de paso y la combinación de cuatro covariantes (pk, distancia a cobertura arbórea o arbustiva, intensidad de la actividad humana y distancia a zonas urbanizadas), sobre la posición de las estructuras en los ejes x, y, z del MDS que sintetiza los patrones de variabilidad de uso las mismas por los vertebrados detectados mediante el sistema fotográfico.

Factores	λ de Wilks	g.l.1	g.l.2	<i>p</i>
Tipo	0,539	10	72	0,009
Covariantes	0,756	12	185	0,234

Las comparaciones *a posteriori* para comprobar las diferencias entre tipos de pasos no se mostraron tan claras en este caso. Tras aplicar la corrección secuencial de Bonferroni ningún tipo mostró diferencias significativas frente al resto, es decir no se reflejaron diferencias en los vertebrados que cruzaron por cada uno de los tipos (Tabla 6.9).

Tabla 6.9. Resultado del análisis de comparación *a posteriori* de las diferencias existentes entre tipos de paso en la fauna detectada mediante el sistema fotográfico cruzando por los mismos sintetizada mediante su posición en los ejes x, y del MDS. Se presentan el valor de la λ de Wilks (línea superior) y la probabilidad asociada a la misma (línea inferior) correspondientes a los MANCOVAs de comparación por pares, señalándose en negrita las probabilidades que resultan significativas ($p < 0.05$) tras la corrección secuencial de probabilidad de Bonferroni. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto; PSE: paso superior específico

	PSE	PSM	PIE	PIM	DA
DC	0,449	0,694	0,584	0,944	0,924
	0,012	0,037	0,018	0,596	0,574
DA	-	0,758	0,377	0,934	
	-	0,379	0,142	0,786	
PIM	0,854	0,929	0,816		
	0,730	0,667	0,444		
PIE	0,000	0,545			
	0,020	0,088			
PSM	0,694				
	0,481				

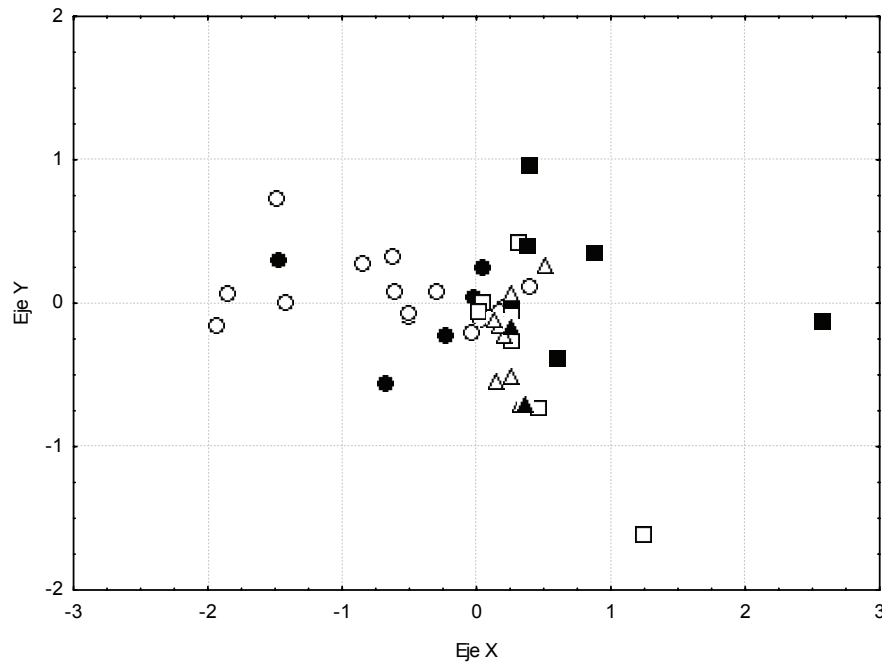


Figura 6.5. Resultado del Escalado multidimensional (eje x- vs. eje y-) realizado para sintetizar la fauna detectada cruzando por las estructuras transversales a la autovía mediante el sistema fotográfico. Se diferencian los distintos tipos de estructuras analizadas: drenajes circulares (○), drenajes adecuados (●), pasos inferiores mixtos (□), pasos inferiores específicos (■), pasos superiores mixtos (△) y pasos superiores específicos (▲).

Los valores del eje x se correlacionaron negativamente con la frecuencia de micromamíferos y comadrejas en los pasos (correlación de Spearman, $p < 0,05$ aplicando Bonferroni), apareciendo también en la parte negativa de este eje los drenajes circulares y los drenajes adecuados (Tabla 6.10.). Por el contrario los valores del eje x se correlacionaron positivamente con la frecuencia de perro, estando asociados a esta parte del eje a los pasos amplios superiores e inferiores, tanto específicos como mixtos. Los valores del eje y se correlacionaron positivamente a zorros, tejones y gatos domésticos, asociados a los pasos inferiores específicos y mixtos. Finalmente, la frecuencia de liebre se correlacionó de forma negativamente con las posiciones del eje y, donde se situaban los dos tipos de pasos superiores, específicos y mixtos.

Tabla 6.10. Posiciones medias de los ejes x- y- del Escalado multidimensional para cada tipo de paso a partir de los contactos fotográficos.

	x	y
Drenajes circulares	-0,583	0,059
Drenajes adecuados	-0,482	-0,034
Pasos inferiores mixtos	0,439	0,091
Pasos inferiores específicos	0,840	0,209
Pasos superiores mixtos	0,236	-0,221
Pasos superiores específicos	0,309	-0,431

Si bien, la influencia ejercida por las covariantes en su conjunto no resultó significativa en el MANCOVA, un análisis individualizado a posteriori de cada una de ellas, sí puso de manifiesto la importancia de la localización geográfica de los pasos (Tabla 6.11). Los

resultados obtenidos fueron similares a los del control de huellas, dejando patente una variación significativa de la fauna que cruzó por los pasos (test de la *t*, $p < 0,05$), aunque no se manifestó ninguna correlación significativa entre las especies y el gradiente geográfico representado por el pk, después de la corrección secuencial de Bonferroni.

Tabla 6.11. Resultados del test de la *t* de la significación individual de las covariantes incluidas en el MANCOVA realizado sobre la posición de las estructuras en los ejes *x*, *y* del MDS que sintetiza los patrones de variabilidad de uso las mismas por los vertebrados registrados mediante el sistema fotográfico.

Covariantes	β -value	<i>t</i>	g.l.	<i>p</i>
Localización (pk)	0,0160	2,046	37	0,024
Distancia a cobertura arbustiva	0,0002	0,557	37	0,290
Actividad humana	0,0250	0,471	37	0,320
Distancia a zonas urbanizadas	0,0001	0,672	37	0,253

6.3.4. Estructuras seleccionadas: patrones interespecíficos

Una vez conocidos los patrones generales de selección en la utilización de los pasos por la fauna y teniendo en cuenta que los resultados obtenidos mediante los dos sistemas de control fueron equivalentes, se realizó un análisis a nivel específico únicamente con los registros obtenidos en las 82 estructuras controladas mediante el registro de huellas. Este análisis se llevó a cabo con el fin de precisar qué especies hicieron un uso diferencial de los distintos tipos de pasos (test de Kruskal Wallis, $p < 0,05$ tras la corrección secuencial de Bonferroni; Tabla 6.12) y las tendencias mostradas por cada una de ellas (índices de uso por tipo). Los contactos fotográficos obtenidos se utilizaron para estimar la importancia relativa de las distintas especies que conforman los siguientes grupos de especies no identificables a nivel específico mediante sus huellas y que pudieron ser identificados: pequeños mustélidos, lagomorfos, cánidos y gatos.

Tabla 6.12. Resultado de la comparación del uso de los diferentes tipos de estructuras de la autovía A-52 por cada especie. Se muestran los valores de Heterogeneidad y los valores de probabilidad (*p*) del test Kruskal Wallis (N: 82 y g.l.: 5), marcándose en negrita los que resultan significativos tras aplicar la corrección secuencial de Bonferroni ($p < 0,05$). N: número de registros de la especie en el total de estructuras controladas.

Especies	N	H	<i>p</i>
Erizo	12	10,099	0,073
Lirón	1	1,485	0,915
Ardilla	1	7,200	0,206
Tejón	40	13,441	0,020
Gineta	3	5,278	0,383
Zorro	137	20,682	0,001
Ciervo	7	22,131	0,001
Grupos faunísticos			
Anuros	28	5,024	0,413
Lacértidos	73	13,291	0,021
Ofidios	9	8,533	0,129
Micromamíferos	414	33,871	0,000
Ratas	16	4,597	0,467
Ratas de agua	10	15,223	0,010
Mustélidos pequeños	25	11,783	0,038
Lagomorfos	158	31,278	0,000
Gatos	46	3,402	0,638
Cánidos	142	19,109	0,002

6.3.4.1. Anuros, lacértidos y ofidios

Anuros

El grupo anuros utilizó todos los tipos de estructuras a excepción de los pasos superiores específicos (Figura 6.6). Ranas y sapos cruzaron principalmente por los drenajes adecuados (I.U.= 3,5) y, en general, mostraron cierta tendencia a utilizar los pasos inferiores a la calzada, si bien esta tendencia no resultó significativa ($H= 1,2$; g.l. 1; $p> 0,05$).

Lacértidos

Los lacértidos utilizaron todos los tipos de paso disponibles (Figura 6.6) y mostraron un uso diferencial de los distintos tipos marginalmente significativo (Tabla 6.7). La amplitud de los pasos resultó determinante en la selección de los mismos: lagartos y lagartijas hicieron un uso mayoritario de los pasos angostos frente al resto ($H= 9,1$; g.l. 1; $p= 0,03$), siendo los drenajes circulares el tipo de estructuras más frecuentemente utilizadas (I.U.= 1,7).

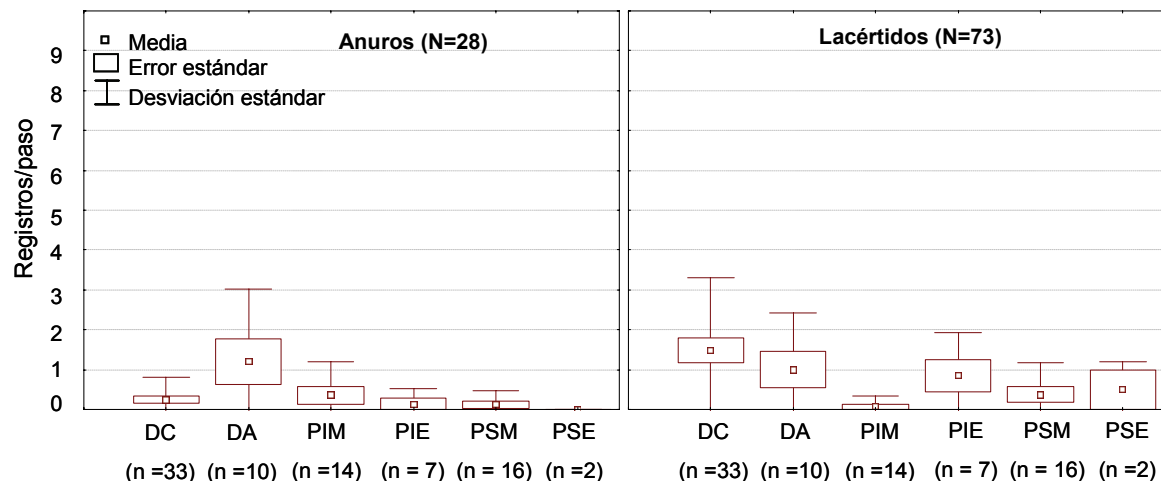


Figura 6.6. Datos medios de frecuentación de anuros y lacértidos por cada uno de los tipos de estructura. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto; PSE: paso superior específico. N: número de presencias totales registradas de la especie, n: número de estructuras controladas.

Ofidios

Se registraron huellas de estos reptiles en 9 ocasiones, haciendo uso de todos los tipos a excepción de los pasos específicos. Los drenajes adecuados fueron las estructuras que con mayor frecuencia utilizaron (I.U.= 4,6).

6.3.4.2. Micromamíferos y ratas

Micromamíferos

El grupo en el que se incluyeron registros de ratones, musarañas y topillos utilizaron todos los tipos de paso, aunque de forma diferencial ($H=33,87$; g.l. 5; $p<0,01$, Tabla 6.7.). Estos vertebrados cruzaron preferentemente por drenajes circulares y pasos superiores mixtos (Figura 6.7.), en los que presentaron el mayor índice de uso (I.U.= 1,3 en ambos tipos). En conjunto mostraron preferencia por pasos estrechos frente a lo amplios ($H=12,23$; g.l. 1; $p<0,01$) y un mayor uso de los pasos mixtos frente a los adecuados o específicamente diseñados para la fauna ($H=11,36$; g.l. 1; $p<0,01$).

Ratas de agua

Estos roedores utilizaron exclusivamente los drenajes (Figura 6.7.), y en mucha mayor medida los adecuados (I.U.=4,9) frente a los circulares (I.U.= 0,99).

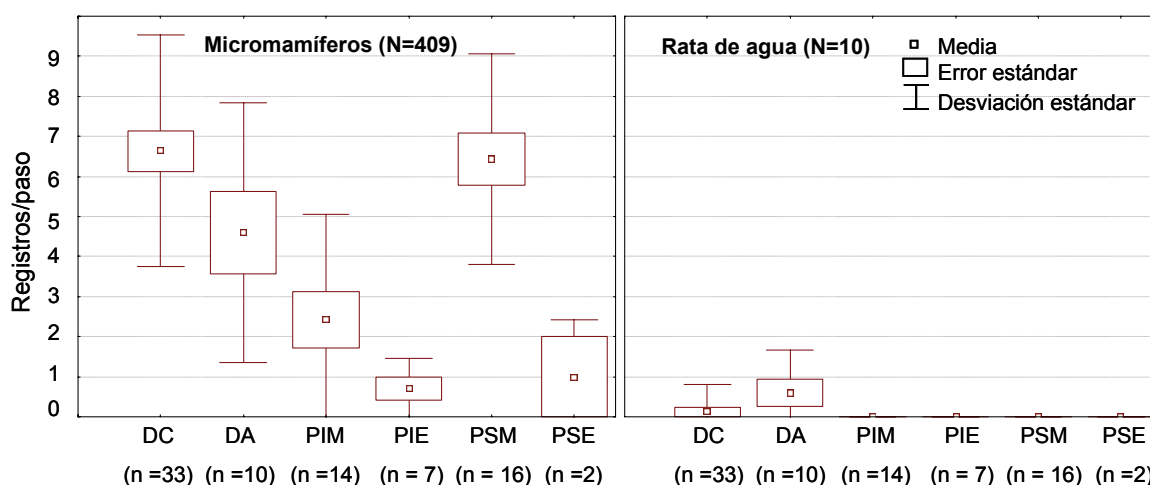


Figura 6.7. Datos medios de frecuentación de micromamíferos y ratas de agua por cada uno de los tipos de estructura. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto; PSE: paso superior específico. N: número de presencias totales registradas de la especie, n: número de estructuras controladas.

Ratas

Los registros pertenecientes a este grupo mostraron una utilización preferente de los drenajes circulares (I.U.= 1,5), y de los pasos angostos en general. No se detectó ningún cruce de rata por los pasos superiores.

6.3.4.3. Lirón, ardilla y erizo

Lirón careto

Esta especie fue detectada en una ocasión, cruzando por un drenaje circular. Mencionar que la identificación de la especie fue posible gracias al contacto fotográfico, por tratarse de una estructura con doble sistema de control.

Ardilla

Se detectó un único cruce de una ardilla por un drenaje adecuado.

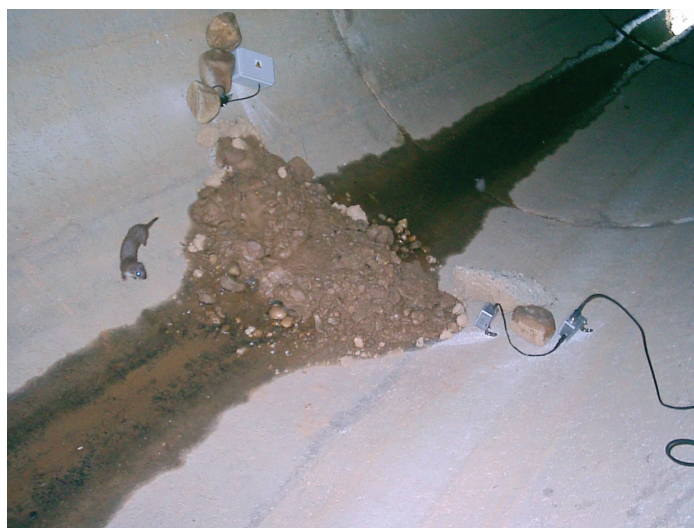
Erizo

Los 12 registros de erizo se produjeron en pasos inferiores a la calzada, y entre éstos, los pasos inferiores específicos fueron los que más utilizaron (I.U.= 5,9). Esta especie fue detectada con mayor frecuencia cruzando por pasos amplios, aunque también cruzó por drenajes circulares (I.U.= 0,2).

6.3.4.4. Pequeños mustélidos y tejón

Pequeños mustélidos

Este grupo mostró ciertas preferencias en la selección de la estructura de cruce, si bien, fue un efecto marginalmente significativo diluido tras la corrección secuencial de Bonferroni (Tabla 6.7). No obstante, aunque el uso diferencial por tipos no se manifestó claramente, la amplitud de la estructura si se mostró determinante en la selección del paso por estos mustélidos ($H= 11,31$; g.l. 1; $p < 0,01$). Este conjunto de vertebrados utilizó exclusivamente los drenajes (Figura 6.8.), tanto circulares (I.U.= 2,2) como adecuados (I.U.= 0,98). Los 12 contactos fotográficos obtenidos correspondieron en todos los casos a comadreja y todos ellos se registraron en los dos tipos de drenajes (Fotografía 6.1).



Fotografía 6.1. Comadreja cruzando por un drenaje circular de la autovía A-52.

Tejón

Al igual que el grupo anterior, esta especie también mostró ciertas preferencias en la utilización de los pasos, aunque se trató de un efecto marginalmente significativo ($p=0,02$ aunque $p>0,05$ cuando se aplica la corrección secuencial de Bonferroni). El tejón utilizó de forma exclusiva las estructuras inferiores a la autovía, independientemente del tamaño de éstas (Figura 6.8). Los drenajes adecuados fueron los más utilizados (I.U.= 3,5), mientras que los drenajes circulares fue por los que menos veces cruzó (I.U.= 0,3).

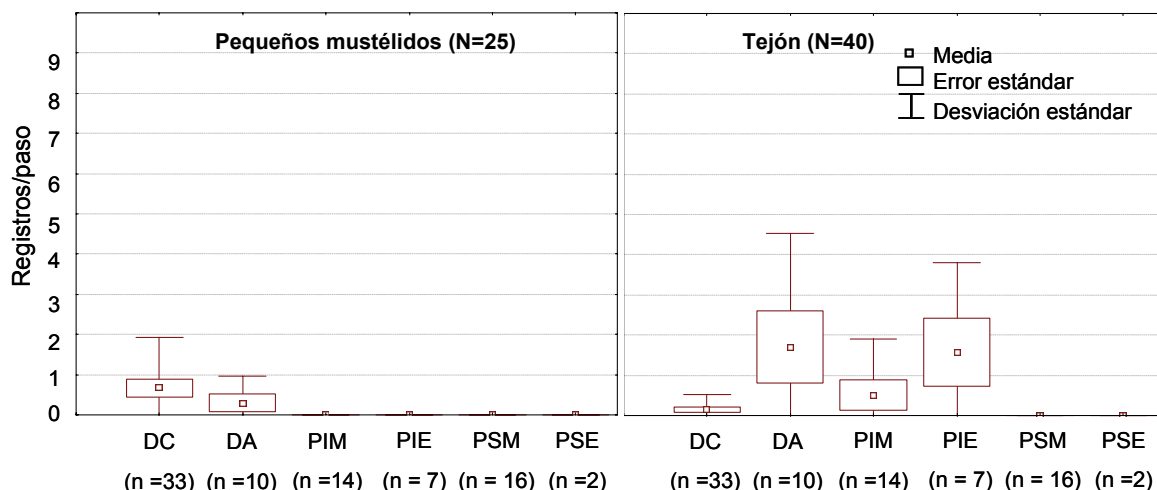


Figura 6.8. Datos medios de frecuentación de pequeños mustélidos y tejones por cada uno de los tipos de estructura. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto; PSE: paso superior específico. N: número de presencias totales registradas de la especie, n: número de estructuras controladas.

6.3.4.5. Gineta y gatos

Gineta

Este viverrido cruzó solamente en tres ocasiones por las estructuras transversales a la autovía, en una ocasión por un drenaje circular y las otras dos por un paso inferior específico.

Gatos

Los gatos utilizaron todos los tipos de estructuras, sin mostrar preferencia entre ellas y con frecuencias similares, excepto en el caso de los superiores específicos, en los que no se registró en ninguna ocasión su paso. Los más utilizados fueron los pasos inferiores específicos (I.U.= 1,27), y los menos, los drenajes adecuados (I.U.= 0,71).

Los contactos fotográficos pertenecientes a este grupo correspondieron en su mayoría a gatos domésticos, con un total de 26 contactos, mientras que sólo se obtuvo uno de gato montés en un paso inferior específico (Fotografía 6.2).



Fotografía 6.2. y 6.3. Contactos fotográficos del grupo gato, obtenidos en dos pasos de la autovía A-2: gato doméstico cruzando por un drenaje adecuado (izquierda) y gato montés detectado en un paso inferior específico (derecha).

6.3.4.6. Zorros y otros cánidos

Zorro

Se registraron huellas de zorro en todos los tipos de pasos presentes en la autovía, a excepción de los superiores específicos, mostrando un uso significativamente distinto entre tipos ($H = 20,7$; g.l. 5; $p < 0,01$). El mayor índice de uso lo presentaron en los pasos inferiores mixtos (I.U.= 2,1), seguido de los pasos inferiores específicos (I.U.=1,9).

Cánidos

Los registros obtenidos revelaron un uso diferencial de los diferentes tipos de estructuras (Tabla 6.7), que resultó determinado por la amplitud de éstas ($H = 16,04$; g.l. 1; $p < 0,01$). Perros y lobos utilizaron prioritariamente pasos amplios y sobre todo de tipo mixto, tanto inferiores como superiores (I.U.= 1,7 e I.U.= 1,9 respectivamente). No obstante, también utilizaron los dos tipos de drenajes (Figura 6.9).

Del grupo cánidos se obtuvieron un total de 33 contactos fotográficos, 32 de ellos pertenecientes a perros repartidos por todos los tipos de pasos (Fotografía 6.4) y sólo uno correspondió a un lobo cruzando por un paso superior mixto (Fotografía 6.5.)

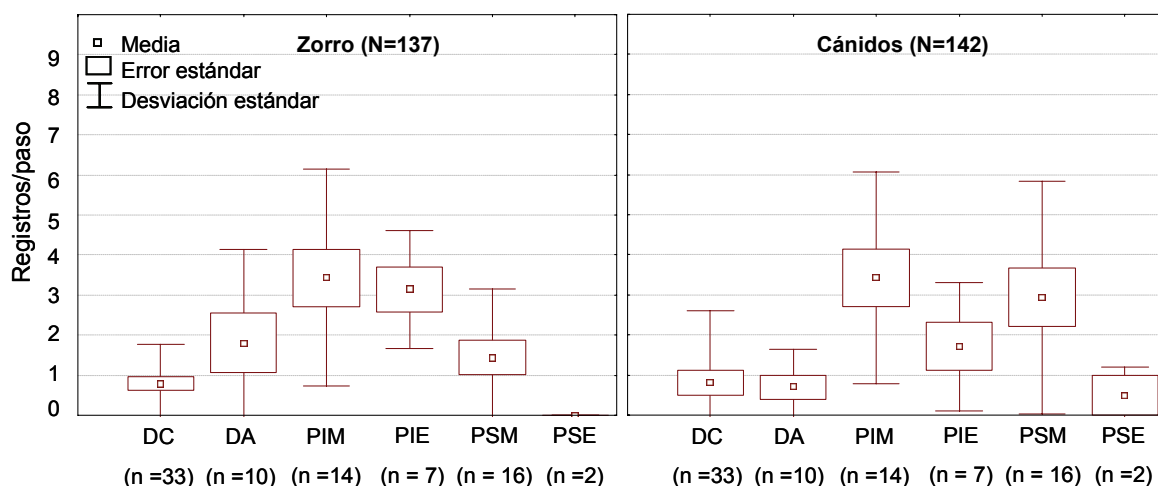


Figura 6.9. Datos medios de frecuentación de zorros y cánidos por cada uno de los tipos de estructura. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto; PSE: paso superior específico. N: número de presencias totales registradas de la especie, n: número de estructuras controladas.



Fotografías 6.4. y 6.5. Contactos fotográficos del grupo cánidos en dos pasos de la autovía A-52. Perro registrado en un paso inferior mixto (izquierda) y lobo detectado en un paso superior mixto (derecha).

6.3.4.7 Lagomorfos.

Los lagomorfos utilizaron de forma selectiva los distintos tipos de estructuras (Tabla 6.7), siendo la amplitud del paso el factor determinante en dicha selección ($H=29,94$; g.l. 1; $p<0,01$). Conejos y liebres utilizaron todos los tipos de pasos (Figura 6.10.), pero cruzaron en mayor medida por los pasos específicos tanto inferiores como superiores (I.U.= 13,8 e I.U.=13,2 respectivamente), mientras que los drenajes circulares y los adecuados los utilizaron con mucha menos frecuencia (I.U.= 1,3 e I.U.=0,3 respectivamente).

Este grupo contó con 50 registros fotográficos, de los cuales 30 fueron detecciones de liebre (Fotografía 6.6.) y las 20 restantes de conejos (Fotografía 6.7.), no mostrando diferencias significativas entre especies en la frecuencia de uso de los distintos tipos de paso ($\chi^2 = 0,450$; g.l.: 4; $p = 0,930$).

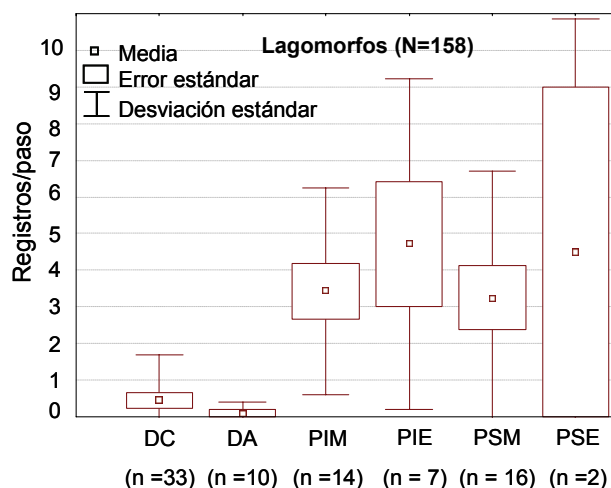


Figura 6.10. Datos medios de frecuentación de lagomorfos por cada uno de los tipos de estructura. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto; PSE: paso superior específico. N: número de presencias totales registradas de la especie, n: número de estructuras controladas.



Fotografías 6.6. y 6.7. Contactos fotográficos del grupo lagomorfos en dos pasos de la autopista A-52: liebre registrada en un paso superior específico (izquierda) y conejo detectado en un paso inferior específico (derecha).

6.3.4.8. Ciervo

Este fue el único ungulado detectado y mostró un uso selectivo de los distintos tipos de pasos ($H = 22,13$; g.l. 5; $p < 0,01$) con una clara preferencia por los pasos superiores específicos (I.U. = 5,86) frente al resto, sólo utilizó otro tipo más, un paso inferior mixto (I.U. = 0,63).

6.4. DISCUSIÓN

Si bien en el anterior apartado se presentaron los resultados separados en función del método de control, la discusión de éstos se realiza de forma conjunta puesto que, en líneas generales, los resultados fueron similares con ambos métodos. Las diferencias encontradas se derivan fundamentalmente del tamaño muestral, ya que se controlaron casi el doble de pasos mediante el registro de huellas. Además, los resultados del método fotográfico son realmente una sub-muestra del método de registro de huellas, de ahí que se obtengan en general los mismos patrones aunque con ciertos matices, y se pierda en general significación, al disminuir el tamaño de muestra.

Una vez más, es necesario destacar el elevado número de especies o grupos de vertebrados detectados en el conjunto de estructuras, así como, la utilización de todos los tipos de pasos presentes en la autovía. Además, el interés de estos resultados se ve reforzado por el número de estructuras controladas (N= 82) muy superior incluso al analizado en estudios anteriores (ver revisión en Forman *et al.*, 2003; Ng *et al.* 2004). No obstante, teniendo en cuenta los resultados de la campaña anterior y las especies potencialmente presentes en el área de estudio (Palomo y Gisber, 2002), no se obtuvieron registros de galápagos, topos, turón, grandes mustélidos (garduña o marta), nutria, corzo y jabalí. La detección de nutrias y galápagos resulta compleja, tanto por la baja densidad de estas especies como por la dificultad de controlar pasos que lleven agua, o viaductos por los que discurran ríos o arroyos y por los que es más probable que crucen. En lo que respecta a la infrecuencia de uso de las estructuras de paso por los ungulados, ésta ha sido puesta en evidencia en algunos casos (Rodríguez *et al.*, 1996; Keller y Pfister, 1997; Rosell *et al.*, 1997), si bien existen datos de uso incluso de túneles relativamente estrechos por algunos de ellos (Reed *et al.*, 1975; Brudin, 2003).

El resultado más relevante es la existencia de un uso diferencial de los diferentes tipos de pasos por los vertebrados. Se trata de un patrón de selección general que se muestra determinado por el tipo de estructura, es decir, por el diseño del mismo. Este hecho, pone de manifiesto la complementariedad de los diferentes tipos de pasos para el cruce de las carreteras por los vertebrados.

La fauna que utiliza los diferentes tipos de pasos es distinta, reflejando cierta relación directa entre el tamaño del animal y las dimensiones de las estructuras utilizadas (Forman y Hersperger, 1996; Veenbass y Brandjes, 1999; Ng *et al.*, 2004), confirmando las tendencias perfiladas en la primera fase de la investigación (ver apartado 5.4). Los drenajes circulares y drenajes adecuados fueron utilizados prioritariamente por pequeños mustélidos, anuros, reptiles y micromamíferos, mientras que los pasos superiores e inferiores más amplios fueron utilizados por lagomorfos, zorros y cánidos. Igualmente, los ciervos y lobos fueron detectados únicamente en pasos de gran amplitud.

Al margen del tamaño, otros factores comportamentales de cada especie también pueden resultar determinantes, como muestra la selección de pasos inferiores amplios por el erizo (0,5-1,2 kg), frente a la utilización de todo tipo de pasos inferiores por el tejón (4,8-9,3 kg), especie que no fue detectada en los pasos superiores amplios. Así mismo, resulta llamativo el elevado número de registros de micromamíferos obtenidos en pasos

superiores mixtos. Este resultado contrasta con lo mostrado en anteriores trabajos (Oxley *et al.*, 1974; Mader, 1984; Swihart y Slade, 1984) en los que en general, se mostraban reticentes a cruzar por hábitats aclarados, sin ningún tipo cobertura que les ofreciera cierta protección frente a los depredadores. La gran intensidad de uso mostrada por los micromamíferos pudiera deberse a un incremento de la densidad de algunas especies de estos roedores en las áreas adyacentes a la autovía, que ven favorecido su hábitat con la construcción de la infraestructura (Adams y Geis, 1983).

Los resultados también alertan sobre la necesidad de enfocar el análisis de la mitigación del efecto barrera de las carreteras sobre la fauna teniendo en cuenta el conjunto de estructuras transversales existentes, y no sólo aquellas de carácter específico. Un gran número de estudios se han enfocado a la efectividad de los pasos específicamente contruidos para la fauna (Singer y Doherty, 1985; Bekker y Canter, 1997; Forman *et al.*, 2003), pese a que, otros trabajos en los que se han tenido en cuenta otros tipos de estructuras han mostrado que éstas también pueden facilitar el cruce de las vías de comunicación por los vertebrados (Camby y Maizaret, 1987; Yanes *et al.* 1995; Ng *et al.* 2004). Las 17 especies (o grupos faunísticos) detectadas en esta campaña de seguimiento utilizaron con mayor o menor intensidad los pasos funcionales de la vía, es decir, aquellas estructuras que no habían sido expresamente diseñados para la fauna, suponiendo entre el 50% y el 100% del total de los registros obtenidos de las mismas. Entre los múltiples registros obtenidos en pasos de tipo mixto, destacan los relativos a mustélidos pequeños, que sólo fueron detectados en drenajes circulares, o el único contacto de un lobo obtenido en un paso superior mixto.

Cabe destacar la importante labor ejercida por los drenajes para los vertebrados de pequeño y mediano tamaño, ya que se trata de las estructuras trasversales más frecuentes y con menos presencia humana de las existentes en las autovías (Huijser *et al.*, 1999; Clevenger *et al.*, 2001). Pese a ello, no debe olvidarse que los pasos específicos se han mostrado en general como los más efectivos para muchas especies del máximo interés de conservación (Foster y Humphrey 1995; Clevenger y Waltho, 2005). Además, la utilidad para la fauna de las estructuras de uso mixto se encuentra muy condicionada por la intensidad de uso humano, que es muy variable entre zonas y puede cambiar drásticamente en el tiempo. Es importante hacer mención a que los estudios que hasta el momento han mostrado la efectividad de los pasos de uso mixto humano-fauna se han desarrollado bajo situaciones de poco tránsito humano (Rodríguez *et al.*, 1996; Clevenger y Waltho, 2005; este estudio), y que la situación puede ser claramente distinta en condiciones mayor presión antrópica.

La influencia de los factores del entorno resulta de menor relevancia en la fauna que utiliza las estructuras existentes en las autovías. El paisaje por el que discurre el tramo estudiado no es homogéneo, lo que determina una variación de las especies detectadas, hecho lógico teniendo en cuenta (i) la existencia de cierta variación en las comunidades animales debido al cambio de condiciones ambientales y (ii) la ya comentada utilización de las estructuras por un amplio abanico de especies. Sin embargo, no se observa relación alguna de la fauna que utiliza los pasos con la cobertura arbustiva y arbórea en sus proximidades.

La existencia de cobertura arbustiva o arbórea se considera determinante de la utilización de los pasos por la fauna y son numerosos los estudios que muestran la importancia de la cobertura vegetal en el entorno de las embocaduras de las estructuras para el paso de ciertas especies de animales (ej. Bennett, 1991; Desiré y Mallet, 1991; Rodríguez *et al.*, 1996; Clevenger y Waltho, 2000). Sin embargo, en la autovía A-52 la distancia a que se encuentra la cobertura arbórea o arbustiva del paso no ha resultado un factor determinante de los vertebrados que lo utilizan. Este resultado puede deberse a que la mayoría de las estructuras estudiadas presentaban cobertura arbórea o arbustiva en sus proximidades. La distancia media de los pasos a dicha cobertura era de 70 m, con un 83% de los casos en que la distancia era inferior a los 50 m. Estos rangos de distancia son frecuentes en paisajes no excesivamente alterados por el hombre, y la respuesta de muchas especies a dichas distancias puede ser poco marcada (Clevenger y Waltho, 2005).

Igualmente, la presencia humana en los pasos y la humanización del entorno parecen ejercer un efecto mínimo. El efecto de la frecuentación humana sobre el uso de los pasos por la fauna es un aspecto muy poco conocido (Forman *et al.* 2003), pero se considera en general negativo (Rosell y Velasco, 1999; Iuell *et al.*, 2003). El índice medio de frecuentación humana (frecuencia diaria de uso por vehículos, viandantes y rebaños en conjunto) de los pasos estudiados fue de tan sólo 0,67, lo que explica la ausencia de alteraciones en la fauna por el trasiego humano. De hecho, en el 73% de los pasos no se alcanzó el valor de 1 vehículo, rebaño o persona al día, e incluso los pasos superiores e inferiores mixtos registraron cerca de un 50% de días sin paso de vehículos o personas. La proximidad de los pueblos genera un efecto marginalmente significativo, acorde con la situación de los pasos a una media de 1.300 m de los pueblos, con un 87% de los valores por encima de los 500 m. Por tanto, de los resultados obtenidos puede deducirse que el efecto de una ligera presencia humana es reducido, quedando en segundo plano frente a otras variables (Clevenger y Waltho, 2000; Gloyne y Clevenger, 2001).

En definitiva, los resultados muestran una mayor importancia, para el uso de las estructuras de cruce por los vertebrados, de las variables estructurales frente a la perturbación humana o la cobertura vegetal próxima a las entradas. Dado que la carretera estudiada en ese momento llevaba en funcionamiento sólo cuatro años, puede suponerse que los resultados obtenidos corresponden a las primeras fases de adaptación de la fauna a la presencia de la infraestructura (Clevenger y Waltho, 2005). Dicha adaptación de las poblaciones de vertebrados del entorno a la nueva infraestructura y sus estructuras de cruce se prolonga durante al menos 3 ó 4 años, en los que la intensidad de uso va aumentando. Clevenger y Waltho (2000) hipotetizaron que las variables estructurales de los pasos y de ubicación respecto de los corredores naturales de fauna existentes antes de la construcción de la carretera resultan determinantes del uso de los pasos por la fauna sólo los primeros años de funcionamiento. Este hecho explicaría tanto estos resultados como otros casos anteriores en los que se analizaron pasos de construcción reciente y en los que los factores estructurales resultaron determinantes (Olbrich, 1984; Ballon, 1985; Rosell *et al.*, 1997). Sin embargo, la importancia de las variables estructurales de los pasos en su selección por ciertas especies de mamíferos

parece mantenerse también años después de la construcción de la carretera, mostrándose relacionada con el comportamiento y determinados rasgos de los ciclos vitales de éstos (Clevenger y Waltho, 2005).

Por último, el análisis específico de los patrones de selección, que se abordará de forma más detalla en el Capítulo 9, pone de nuevo de relieve, por un lado, la importancia de la amplitud como la característica estructural más determinante, destacando una relación positiva entre la anchura de paso y la frecuencia de uso para ungulados y mamíferos en general (Reed *et al.*, 1975; Reed, 1981; Veenbass y Brandjes, 1999). Y por otro, la especificidad del diseño, que también aparece como determinante en la utilización de las estructuras para algunas especies, especialmente para ciervos y en menor medida, para tejones, erizos y ginetas.

6.5. CONCLUSIONES

Los resultados muestran el uso diferencial entre especies de los distintos tipos de estructuras transversales de la autovía, lo que lleva a que las diferentes estructuras sean complementarias en la reducción del efecto barrera. Conjuntamente los pasos específicamente diseñados para la fauna, los drenajes adecuados y las estructuras funcionales propias de la vía (drenajes, puentes y pasos inferiores) contribuyen a incrementar la permeabilidad de ésta, siempre y cuando la perturbación humana no sea muy elevada en éstos últimos.

En líneas generales, estos patrones de selección reflejan cierta relación directa entre el tamaño del animal y la estructura utilizada para cruzar. Además se comprueba que dichos patrones resultan más determinados por el tipo de paso que por las variables de entorno (localización del paso, vegetación circundante y perturbación humana).

Por último, destacar que los dos métodos de control son comparables y complementarios. El método de control mediante el registro de huellas, al tratarse de un método relativamente sencillo y poco costoso permite realizar el seguimiento de un mayor número de estructuras, aportando valiosa información sobre los patrones generales de utilización de los pasos por los vertebrados. Y el sistema fotográfico por su parte, resulta indispensable para identificar especies que por sus huellas están sujetas a confusión, con el interés añadido de que entre estas especies se encuentran algunas de gran valor de conservación, tales como el gato montés o el lobo.



Capítulo.7

Variabilidad estacional en los patrones de utilización de los pasos por los vertebrados

7.1. INTRODUCCIÓN

Son numerosos los estudios que han destacado la relevancia de la ubicación o las dimensiones de los pasos para favorecer su uso por la fauna (Reed *et al.*, 1975; Thirion y Mallet, 1984; Foster y Humphrey, 1995; Land y Lotz, 1996; Clevenger y Waltho, 2000; Gloyne y Clevenger, 2001). Sin embargo, poco se sabe de aspectos más específicos, cómo los ciclos vitales de las especies pueden determinar el movimiento a través de estas estructuras. Puesto que, periodos de celo, nacimientos o la dispersión de juveniles influyen en los patrones de movimiento, y cada uno de ellos se asocia a un espacio de tiempo más o menos concreto a lo largo de un año, se plantea como objetivo principal de esta fase de la investigación estudiar los efectos de la estacionalidad en la utilización de las estructuras de cruce. Se parte de la hipótesis de que la utilización de estas estructuras está determinada en gran medida por el tamaño de las especies (Forman y Hersperger, 1996; Ng *et al.*, 2004), por lo que la selección deberá ser similar en los distintos periodos. Si esto es así, ello permitiría (1) optimizar la planificación y diseño de las estructuras transversales en la construcción de nuevas infraestructuras viarias y (2) reducir el coste de los programas de seguimiento de la efectividad de las medidas.

7.2. MATERIAL Y MÉTODOS

7.2.1. Área de estudio

Este estudio se llevó a cabo en un tramo de 55 kilómetros de la autovía de las Rías Bajas (A-52) entre las localidades de Santa Marta de Tera y Palacios de Sanabria, en el tramo comprendido entre el pk 19+550 y el pk 73+900 (Figura 7.1). Este tramo cuenta con un total de 120 estructuras, considerando tanto aquellas de carácter funcional

como las diseñadas para uso por la fauna. La distancia media que separa cada una de estas estructuras es de 457m.

En lo que respecta al paisaje por el que discurre este tramo, los encinares dominan el paisaje de los primeros 30 km, alternando en su cortejo de acompañamiento jarales, piornales, especies de matorral bajo (tomillo, cantueso) y pastizales. Los cultivos se limitan a la zona de vega (maizales, cereales en secano) y a viñedos de reducida extensión en laderas. El resto del trazado discurre entre teselas de melojar (*Quercus pyrenaica*), piornales, matorrales bajos (*Genista tridentata*, *Halimium ocymoides*, *H. lasianthum*) y prados húmedos.

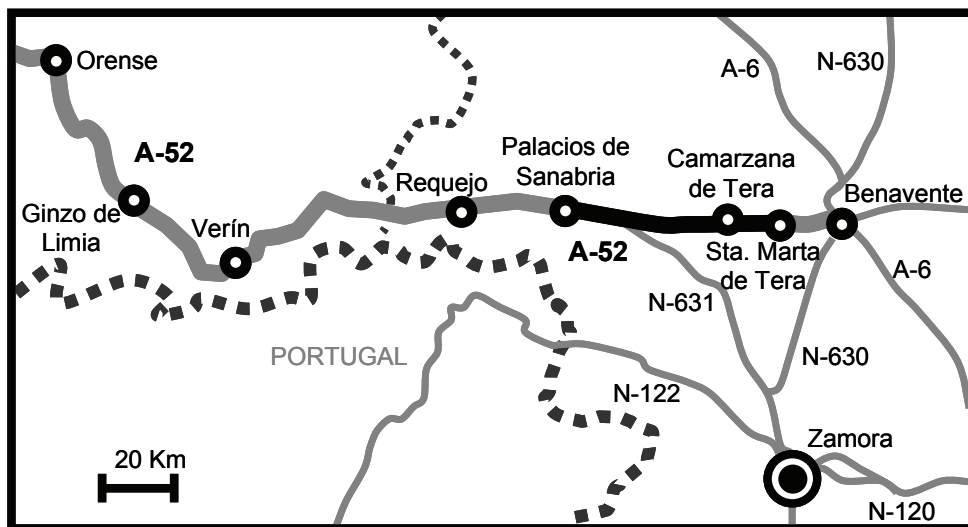


Figura 7.1 Localización del área de estudio. En trazo más grueso se representa la autovía A-52 con los tramos controlados en negro.

7.2.2. Selección de las estructuras objeto de seguimiento

En el tramo de estudio se seleccionaron 48 estructuras transversales a la vía. Siguiendo el protocolo definido en el apartado 2.3.5. se incluyeron todas aquellas estructuras específicamente diseñadas para la fauna, así como, una muestra representativa de todos los tipos presentes en esta autovía (Tabla 7.1).

Tabla 7.1. Características básicas de las estructuras sujetas a seguimiento: tipo, número de estructuras controladas (N), método de control, dimensiones y función.^a un paso de 150 m , ^b un paso de 96 m

Tipo	N	Sistema de control			Dimensiones (m)			Función
		Huellas	Fotos	Ambos	Anchura	Altura	Longitud	
Drenajes circulares	17	7	2	8	Ø1.80		35-63	drenaje
Drenajes adecuados	4	-	4	-	2-4	2	37-50 ^a	drenaje, adaptado para la fauna
Pasos Inferiores Mixtos	11	3	4	4	4-9	3-6	32-44	restituir carreteras y pistas rurales
Pasos Inferiores Específicos	5	-	-	5	14-20	4-8	30-33 ^b	fauna, cerrado a vehículos
Pasos Superiores Mixtos	9	3	3	3	7-7,7	-	58-65	restablecer caminos rurales
Pasos Superiores Específicos	2	-	2	-	16	-	60	fauna, cerrado a vehículos

7.2.3. Sistemas de control y periodo de seguimiento

Se emplearon los dos sistemas de control que se venían utilizando anteriormente: el registro de huellas mediante marmolina y el sistema fotográfico. Una descripción más detallada de ambos sistemas se encuentra en el apartado 2.4 del Capítulo 2.

De los 48 pasos controlados, en 13 se utilizó marmolina, en 15 pasos se instalaron sistemas fotográficos y en los 20 restantes se emplearon ambos sistemas simultáneamente (Tabla 7.1 y Anexo VI).

A tenor de los resultados obtenidos tras la comparación de ambos métodos de control, previamente presentados en el Capítulo 3, es necesario tener en cuenta que inexorablemente, se perdió información en aquellos pasos que fueron controlados únicamente mediante el sistema fotográfico, cometiéndose cierto sesgo negativo en las especies de menor tamaño que hubieran hecho uso de estas estructuras, y en general en el resto de especies. No obstante, para la mayoría de los tipos de pasos distinguidos en el análisis esta pérdida de información resultó poco representativa debido al bajo número de estructuras controladas únicamente mediante este método. Tan sólo cabe destacar que tanto los drenajes adecuados como los pasos superiores específicos fueron controlados exclusivamente mediante sistemas fotográficos. Por ello, en ambos tipos se debe admitir cierta infravaloración del uso real de estas estructuras, si bien fue cometida en los dos periodos de muestreo por igual, por lo que en esencia, no varía en demasía el análisis. Para facilitar el manejo de los resultados obtenidos a través de los dos métodos se mantuvieron los grupos faunísticos establecidos en el apartado 2.4.1.1 también en los contactos fotográficos, aunque la identificación de la especie fuera posible.

El periodo de control constó de dos campañas, la primera de junio a septiembre de 2002, correspondiendo con el verano boreal (17,9 °C de temperatura media y 18,6 mm de precipitación mensual media). Y la segunda de febrero a primeros de abril de 2003, comprendiendo el invierno de esta latitud (7,3 °C de temperatura media y 40,9 mm de

precipitación mensual media). Los pasos fueron revisados diariamente hasta obtener 10 días válidos.

7.2.4. Tratamiento de datos

La unidad básica de análisis fue de nuevo el número de días que la especie (o grupo faunístico) era detectada utilizando el paso. En el caso de los contactos fotográficos, la unidad correspondía al total de imágenes obtenidas de una misma especie en un mismo día independientemente del número de ellas. De este modo, se eliminan, los ya mencionados problemas de pseudorreplicación. En los análisis no se incluyeron los factores derivados de la perturbación humana, ya sea consecuencia directa por el tránsito por los pasos de personas a pié, ganado y vehículos, como indirecta, debida a la proximidad a zonas urbanizadas. Tampoco se consideró la vegetación circundante a los pasos. Ambos factores se descartaron porque los resultados del Capítulo 6 muestran que no existía un efecto significativo.

La utilización media de cada estructura por los vertebrados en las dos épocas estudiadas, se realizó mediante un test pareado de la t. Los patrones de uso de las estructuras por las especies se analizaron mediante un Escalado Multidimensional (MDS, PROXSCAL-SPSS 12.0; SPSS Inc. 2003). Para la ordenación de las observaciones (número de registros por paso en los 10 días) se utilizó la distancia euclídea como índice de similitud. El análisis se llevó a cabo a partir de la solución en dos dimensiones, por tratarse de la configuración que en menor número de dimensiones presentaba un valor de stress inferior a 0,10 (Real, 2001). El análisis se efectuó con 96 casos, correspondientes a las dos campañas realizadas.

Posteriormente, se comprobó la existencia de patrones en la utilización de las estructuras por parte de las especies asociada al tipo de paso, o si bien estas diferencias provenían de un cambio en la fauna vertebrada ligado al gradiente geográfico abarcado en el estudio y si éstos variaban en función de la época del año. Para ello se utilizó un MANCOVA de medidas repetidas (STATISTICA 6.1, Statsoft Inc. 2002) aplicado a sus coordenadas en los ejes x e y del MDS. Para cada una de las estructuras se consideraron las posiciones en verano y en invierno (como medida repetida), el tipo de paso como factor y la posición del paso en la carretera (su pk) como covariante.

La interacción entre los factores (tipo de paso y estación) se analizó mediante el test de Kruskal-Wallis, a partir de la distancia euclídea que separa cada estructura en verano y en invierno. Para evaluar el sentido de la interacción entre la localización de las estructuras (pk) y la estación del año, se complementó el MANCOVA con una correlación de Spearman entre el pk de la estructura y la distancia euclídea entre las posiciones verano e invierno

Las especies más explicativas a la hora de interpretar las posiciones en las dos dimensiones del MDS (x y) se establecieron mediante correlaciones de Spearman, seleccionando aquéllas que mantuvieron valores de p menores que 0,05 tras aplicar la corrección secuencial de Bonferroni (Rice, 1989).

Finalmente, se realizó una exploración de los resultados a nivel de especie, comparando los registros obtenidos en verano e invierno, mediante el test de Wilcoxon debido a la ausencia de normalidad de los datos. En este caso también se aplicó la corrección secuencial de Bonferroni a los valores de p obtenidos.

7.3. RESULTADOS

En las 48 estructuras controladas se obtuvieron 1.354 registros-día a lo largo de un total de 960 días-pasos de control. Del total de registros un 22,3% resultaron derivados de la actividad humana (personas, ganado y vehículos). Relativos a la fauna fueron 1.052 registros-día (número medio de especies por paso \pm desviación estándar en invierno y en verano: $0,52 \pm 0,34$ y $0,65 \pm 0,36$ respectivamente), registrándose una intensidad de uso significativamente mayor en el verano (test pareado de la t : $t = -2,05$; g.l.:47; $p = 0,046$).

Todos los tipos de pasos fueron utilizados por los vertebrados, presentando similares índices de uso en las dos temporadas de muestreo (Figura 7.2). No obstante, se manifiestan ciertas diferencias en los índices de uso, especialmente en los pasos superiores específicos, que resultaron mucho más frecuentados por la fauna en invierno que en verano (I.U. verano = 0,3; I.U. invierno = 1,6). Los pasos inferiores específicos fueron los más utilizados en verano (I.U. = 1,4) y después de los superiores específicos que también fueron los más utilizados por los vertebrados en invierno (I.U.= 1,2). En las dos temporadas los drenajes adecuados fueron de los pasos que en menor número de veces fueron utilizados por la fauna (I.U. verano = 0,6; I.U. invierno = 0,3).

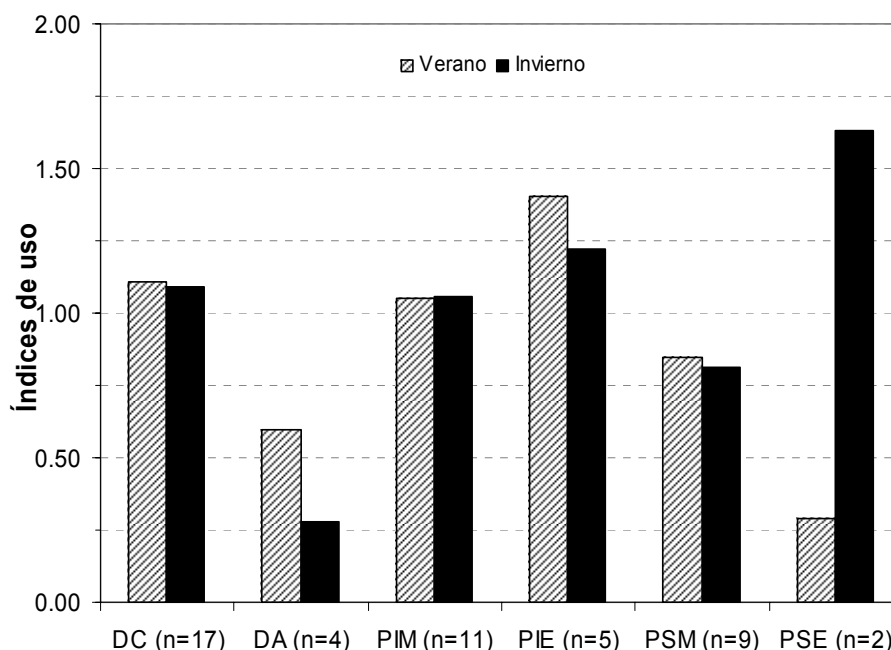


Figura 7.2. Índices de uso detectados en verano y en invierno en cada uno de los tipos de estructuras en la autovía A-52. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto; PSE: paso superior específico. n: número de estructuras controladas.

7.3.1. Especies que hacen uso de las estructuras de paso

Se detectaron un total de 19 especies/grupos específicos utilizando estas estructuras transversales a la autovía (Tabla 7.2. y Anexo VI). Los micromamíferos fueron el grupo que con mayor frecuencia cruzó por los pasos en los dos periodos de control, con una media de 0,35 de registros por paso y día. A continuación se registraron zorros y lagomorfos (0,16 registros/día). Con menor frecuencia fueron detectados cánidos y tejones (entre 0,12 y 0,08 registros/día), mientras que el resto de las especies (o grupos) mostraron una frecuencia de uso más baja (inferior a 0,05 registros/día).

Tabla 7.2. Media de registros diarios por tipo de estructura de las especies y grupos específicos a lo largo de los 10 días de control en la dos campañas: verano (ver) e invierno (inv). DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto; PSE: paso superior específico. n: número de estructuras controladas.

	DC		DA		PIM		PIE		PSM		PSE	
	n=17		n=4		n=11		n=5		n=9		n=2	
	ver	inv	ver	inv	ver	inv	ver	inv	ver	inv	ver	inv
Especies												
Erizo	0,12	-	-	-	0,45	-	-	-	-	-	-	-
Lirón	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ardilla	-	-	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tejón	0,29	0,59	0,75	0,5	1,55	1,36	1,8	2,6	-	-	-	1,0
Gineta	0,06	0,12	-	-	-	-	1,0	0,4	-	-	-	-
Zorro	0,94	0,82	0,25	-	3,18	2,27	4,8	3,4	1	0,56	-	5,0
Ciervo	-	-	-	-	0,18	-	-	-	-	-	-	2,5
Jabalí	-	-	-	-	-	-	-	0,4	-	-	-	-
Grupos faunísticos												
Anuros	0,18	-	0,25	-	0,27	0,09	0,2	-	-	-	-	-
Lacértidos	1,88	-	-	-	0,09	-	1	-	-	-	-	-
Ofidios	0,18	-	-	-	0,09	-	-	-	0,22	-	-	-
Micromamíferos	6,53	6,18	3	-	2,09	1,18	1,2	2,6	3,44	2,89	-	-
Ratas	0,47	0,65	-	-	0,18	-	0,2	-	-	-	-	-
Ratas de agua	0,18	0,65	1	2,25	-	0,45	-	-	-	-	-	-
Mustélidos pequeños	1,24	1,12	0,25	-	-	0,09	-	-	-	-	-	-
Mustélidos grandes	-	0,06	-	-	-	0,18	-	-	-	-	-	-
Gatos	0,12	0,06	1,25	-	0,36	0,36	0,8	-	0,67	0,78	-	-
Cánidos	0,71	0,24	0,25	-	1,55	1,73	2,4	2	1,11	1,89	1,0	4,0
Lagomorfos	0,41	0,24	-	-	2,73	2,64	3,6	0,6	3,78	1,89	2,5	3,5

7.3.2. Estructuras seleccionadas: patrones generales y variación estacional

La ubicación espacial de las estructuras en el MDS reflejó una segregación espacial entre los distintos tipos de pasos, así como un ligero desplazamiento entre la representación correspondiente a los datos verano respecto a los de invierno (Figura 7.3).

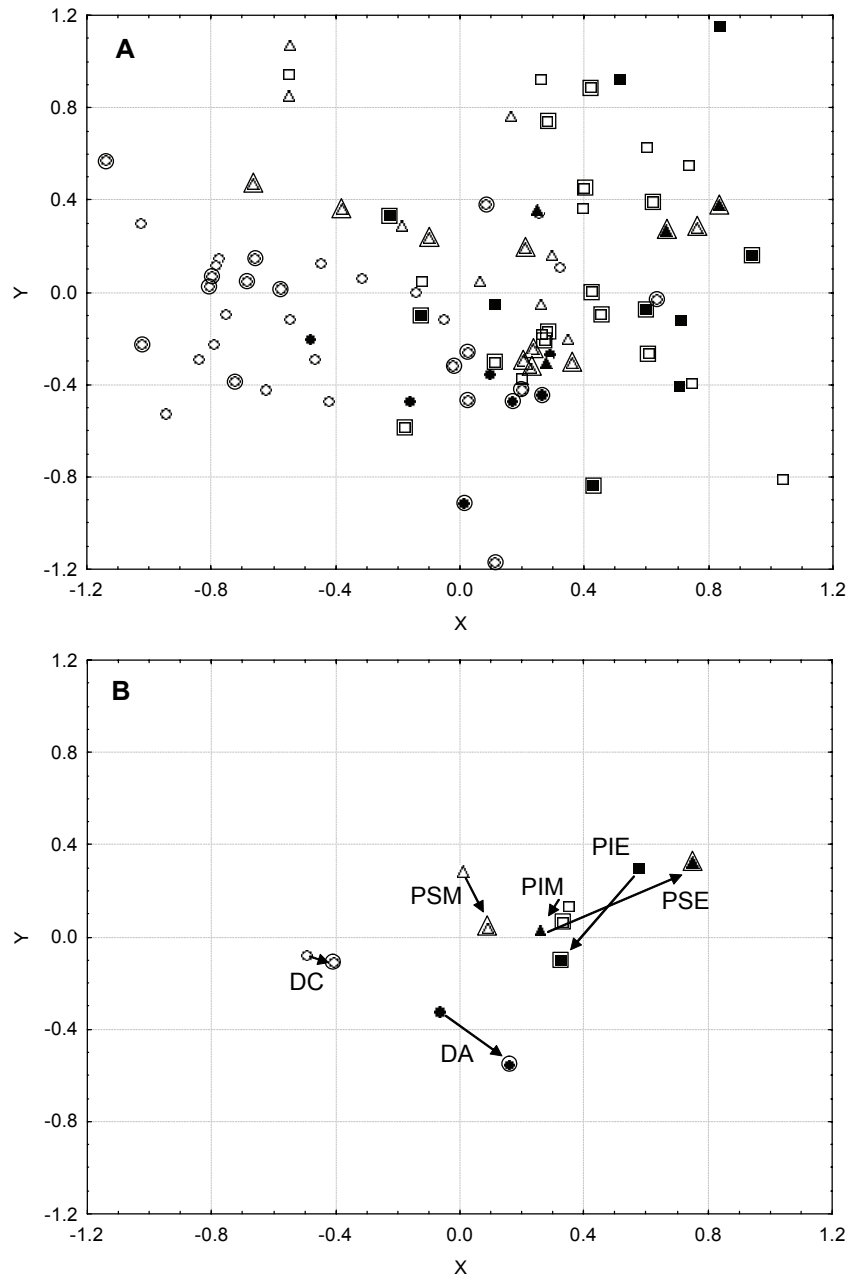


Figura 7.3. Resultado del Escalado multidimensional (eje x- vs. eje y) realizado para sintetizar la fauna detectada mediante el registro de huellas cruzando por las estructuras transversales a la autovía en cada estación (A) y posiciones medias para cada tipo de paso según la estación (B). Se diferencian los distintos tipos de estructuras analizadas: DC-drenajes circulares (○), DA-drenajes adecuados (●), PIM-pasos inferiores mixtos (□), PIE-pasos inferiores específicos (■), PSM-pasos superiores mixtos (△) y PSE-pasos superiores específicos (▲). Los resultados relativos al periodo invernal están representados por figuras con doble línea.

El factor tipo de paso resultó significativo (test MANCOVA de medidas repetidas, $p < 0,001$), mientras que la estación y su interacción con el tipo de paso resultaron marginalmente significativos ($0,05 < p < 0,1$). La localización de la estructura (covariante pk) no fue significativa (Tabla 7.3), pero sí su interacción con la estación. Esta última interacción puso de manifiesto la violación de la asunción de la homogeneidad de las

pendientes entre los niveles del tratamiento y la covariante, incumpliendo por ello el test de paralelismo. No obstante, considerando la variación estacional como la distancia euclídea entre las posiciones MDS de verano e invierno de las estructuras, se comprobó la ausencia de una correlación significativa entre el pk y la estación (correlación de Spearman $p > 0,05$). En todo caso, se trataba de una correlación negativa ($r_s = -0,230$) que, estaría reflejando diferencias estacionales más marcadas en la fauna que utiliza las estructuras de la parte oriental (primeros km de la vía) respecto a las especies que utilizan las estructuras de la zona más occidental.

Tabla 7.3. Resultados del MANCOVA de medidas repetidas sobre el efecto del tipo de paso, la estación y la covariante pk, sobre la posición de las estructuras en los ejes x, y del MDS que sintetiza los patrones de variabilidad de uso las mismas por los vertebrados (Figura 7.3).

Factores	λ de Wilks	F	g.l.	g.l.2	p
Tipo de estructura	0,335	5,820	10	80	<0,001
Covariante (pk)	0,931	1,491	2	40	0,237
Estación	0,884	2,618	2	40	0,085
Interacción Estación -Tipo	0,677	1,726	10	80	0,089
Interacción Estación -pk	0,845	3,660	2	40	0,035

En función de los resultados obtenidos en esta primera fase, se rehicieron los análisis excluyendo la covariante pk. En líneas generales, los resultados se mantuvieron con variaciones mínimas, el factor tipo continuó siendo significativo (test MANOVA de medidas repetidas, $p < 0,001$). Así mismo, la estacionalidad y la interacción entre la estación y el tipo de paso siguieron siendo marginalmente significativos (Tabla 7.4).

Tabla 7.4. Resultados del MANOVA de medidas repetidas sobre el efecto del tipo de paso y la estación, sobre la posición de las estructuras en los ejes x, y del MDS que sintetiza los patrones de variabilidad de uso las mismas por los vertebrados (Figura 7.3).

Factores	λ de Wilks	F	g.l.	g.l.2	p
Tipo de estructura	0,337	5,924	10	82	<0,001
Estación	0,890	2,532	2	41	0,092
Interacción Estación -Tipo	0,655	1,935	10	82	0,052

Los valores del eje x se correlacionaron negativamente con la frecuencia de micromamíferos y comadrejas en los pasos, apareciendo también en la parte negativa de este eje los drenajes circulares (Tabla 7.5). Por el contrario los valores del eje x se correlacionaron positivamente con la frecuencia de tejón, zorro y cánidos, estando asociados a esta parte del eje los pasos inferiores específicos y mixtos y los pasos superiores específicos (Figura 2). Los valores del eje y se correlacionaron positivamente con la presencia de lagomorfos, cánidos y zorros, asociados a los pasos superiores, tanto mixtos como específicos (Tabla 7.6). En cambio la parte negativa, donde se encontraban situados los drenajes adecuados, no presentaron ninguna asociación significativa con las especies.

Tabla 7.5. Posiciones medias de los ejes x- y- del escalado multidimensional para cada tipo de paso en función de la estación y para el conjunto de datos.

	Total		Verano 2002		Invierno 2003	
	X media	Y media	X media	Y media	X media	Y media
Drenaje circular	-0,450	-0,096	-0,492	-0,081	-0,408	-0,111
Drenaje adecuado	0,049	-0,439	-0,065	-0,326	0,162	-0,552
Paso Inferior Mixto	0,341	0,099	0,350	0,133	0,332	0,065
Paso Inferior Específico	0,450	0,097	0,576	0,298	0,323	-0,103
Paso Superior Mixto	0,050	0,162	0,009	0,288	0,091	0,037
Paso Superior Específico	0,505	0,177	0,262	0,028	0,747	0,325

Las posiciones medias de los distintos tipos de estructuras en función de la estación derivadas de la representación MDS, pusieron de manifiesto cierto desplazamiento hacia el cuadrante inferior derecho de las posiciones relativas al invierno. Según los resultados de las correlaciones de Spearman entre especies y los ejes de análisis, esta ligera tendencia vendría marcada por una mayor, o en ocasiones exclusiva, utilización de los diferentes tipos de estructuras en verano por micromamíferos, lacértidos, ofidios y anuros. El análisis llevado a cabo sobre la distancia euclídea de cada estructura entre las dos temporadas (verano-invierno) no mostró diferencias significativas entre tipos (test de Kruskal-Wallis, $H = 3,7$; g.l.: 5; $p = 0,593$), indicando que la intensidad del cambio es similar entre los distintos tipos de pasos.

Tabla 7.6. Resultados de las correlaciones de Spearman para interpretar las posiciones de cada una de las estructuras en el escalado multidimensional MDS en cada eje de análisis, a partir de los datos de presencias de las especies. Se muestran los valores de la Rho de Sperman (r_s) y de la probabilidad (p). En negrita se muestran los resultados significativos ($p < 0,05$) después de aplicar la corrección secuencial de Bonferroni.

Especies	Eje X		Eje Y	
	r_s	p	r_s	p
Erizo	0,04	0,693	0,17	0,102
Lirón careto	-0,15	0,138	-0,01	0,919
Ardilla roja	-0,01	0,900	-0,11	0,306
Tejón	0,38	<0,001	-0,04	0,712
Gineta	0,11	0,289	0,05	0,612
Zorro	0,62	<0,001	0,41	<0,001
Ciervo	0,28	0,005	0,02	0,833
Jabalí	0,09	0,400	0,04	0,722
Grupos faunísticos				
Anuros	-0,06	0,590	0,09	0,388
Lacértidos	-0,21	0,041	0,02	0,835
Ofidios	-0,25	0,015	0,12	0,240
Micromamíferos	-0,78	<0,001	0,26	0,010
Ratas	-0,20	0,046	-0,05	0,600
Ratas de agua	-0,18	0,088	-0,20	0,048
Mustélidos pequeños	-0,38	<0,001	-0,20	0,047
Mustélidos grandes	-0,02	0,872	0,01	0,945
Gatos	0,22	0,033	0,03	0,774
Cánidos	0,53	<0,001	0,40	<0,001
Lagomorfos	0,27	0,007	0,70	<0,001

7.3.3. Estructuras seleccionadas: patrones interespecíficos y variación estacional

Si bien los patrones generales de selección se mantuvieron, algunas especies mostraron diferencias en la intensidad de uso de las estructuras según la temporada. El grupo de lacértidos presentó una utilización de las estructuras significativamente distinta en función de la época, haciendo uso exclusivo de las mismas en el periodo estival (Wilcoxon test, $z = 3,41$, g.l. 1, $p < 0,001$). De forma menos evidente, marginalmente significativos tras la corrección secuencial de Bonferroni, resultaron el grupo de ofidios, únicamente registrados en verano, y el grupo de las ratas de agua con una mayor utilización de las estructuras en el periodo invernal (Tabla 7.7).

Tabla 7.7. Resultado de la comparación de la variabilidad estacional en el uso de los diferentes tipos de estructuras de la autovía A-52 por cada especie. Se muestran los valores de la z de Wilcoxon y de probabilidad (p) del test de Wilcoxon (N: 48 y g.l.: 1), marcándose en negrita los que resultan significativos tras aplicar la corrección secuencial de Bonferroni ($p < 0,05$). N: número de registros de la especie en el total de estructuras controladas en cada estación.

Especies	N_{verano}	N_{invierno}	Z	p
Erizo	7	0	1,60	0,109
Lirón careto	2	0	-	-
Ardilla roja	1	0	-	-
Tejón	34	42	0,59	0,554
Gineta	6	4	0,80	0,423
Zorro	85	71	1,23	0,219
Ciervo	2	5	0,25	0,800
Jabalí	0	2	-	-
Grupos faunísticos				
Anuros	8	1	1,77	0,076
Lacértidos	38	0	3,41	0,001
Ofidios	6	0	2,02	0,043
Micromamíferos	183	157	0,79	0,427
Ratas	11	11	0,42	0,675
Ratas de agua	7	25	2,02	0,043
Mustélidos pequeños	22	20	0,18	0,855
Mustélidos grandes	0	3	-	-
Gatos	21	12	1,65	0,099
Cánidos	54	58	0,38	0,701
Lagomorfos	94	60	1,05	0,292

Así mismo, teniendo en cuenta únicamente los registros correspondientes a los 35 pasos controlados mediante el sistema fotográfico, se comprobó un mayor uso de las estructuras por comadrejas y conejos en verano, aunque de forma marginalmente significativa (Tabla 7.8).

Tabla 7.8. Resultado de la comparación de la variabilidad estacional en el uso de los diferentes tipos de estructuras de la autovía A-52 por las especies identificadas mediante el sistema fotográfico. Se muestran los valores de Z de Wilcoxon y los valores de probabilidad (p) del test de Wilcoxon (N : 35 y g.l.: 1), marcándose en negrita los que resultan significativos tras aplicar la corrección secuencial de Bonferroni ($p < 0,05$). N : número de registros de la especie en el total de estructuras controladas en cada estación.

	N_{verano}	N_{invierno}	Z	p
Armiño	0	4	-	-
Comadreja	12	0	2,02	0,043
Conejo	20	4	1,75	0,080
Liebre	23	22	0,11	0,910
Gato doméstico	18	12	1,27	0,203
Gato montés	1	0	-	-
Lobo	1	5	0,80	0,423
Perro	25	20	0,88	0,379

7.4. DISCUSIÓN

Hasta el momento, la mayoría de los estudios en los que se ha analizado la utilización de los pasos de fauna por los vertebrados coinciden en distinguir un uso diferencial de las estructuras según las especies (ej. Rodríguez *et al.*, 1996; Clevenger y Waltho, 2000). Estos patrones de selección, que en gran medida están condicionados por el comportamiento de las especies y su historia natural (Clevenger y Waltho, 2005), podrían estar influidos también por la variabilidad estacional asociada a los periodos de celo, nacimientos o la dispersión de juveniles. Sin embargo, resulta sorprendente el escaso tratamiento que el papel de la estacionalidad ha recibido. Por un lado, existen estudios que, por su corta duración, no recogen variación estacional alguna (ej. Hunt *et al.*, 1987). Por otro, aquellos en los que, pese a desarrollarse en un largo periodo de tiempo, no se ha hecho distinción de los resultados en función de la estación, considerando todo el periodo de control como una muestra única (ej. Reed *et al.*, 1975; Foster y Humphrey, 1995; Land y Lotz, 1996; Rosell *et al.*, 1997; Ng *et al.* 2004). Y por último, estudios en los cuales sí se ha considerado la variación estacional pero o bien, referida a una única especie (Gloyne y Clevenger, 2001) o bien a un único tipo de estructuras (ej. pasos específicos para la fauna en SASF, 1986; drenajes en Yanes *et al.*, 1995 o pasos mixtos en Rodríguez *et al.*, 1996). En definitiva, la importancia del presente estudio radica en que por primera vez, se hace un tratamiento en profundidad del papel de la estacionalidad en los patrones de selección en la utilización de los pasos de fauna y demás estructuras transversales, considerando numerosas especies de vertebrados e incluyendo diferentes tipos de estructuras, tanto aquellas específicamente diseñadas para la fauna como las de tipo funcional, propias a la vía.

Los patrones de selección hallados para las especies aparecen claramente determinados por el diseño del paso, mientras que la variación estacional ejerce una ligera influencia, producida esencialmente por especies de marcada estacionalidad como son los anfibios y reptiles. Estos últimos concentran casi por completo su actividad en el periodo estival (Barbadillo *et al.*, 1999), de ahí el uso exclusivo de las estructuras durante esta estación y las diferencias encontradas.

En los patrones de selección se pone de manifiesto una relación directa entre el tamaño del animal y las dimensiones de la estructura (Veenbaas y Brandjes, 1999; Ng *et al.*, 2004). Las especies de pequeño tamaño como roedores o pequeños mustélidos han utilizado preferentemente estructuras estrechas como los drenajes, en consonancia con los resultados presentados en estudios previos (Saunders y Hobbs 1991; Andreassen *et al.*, 1996; McDonald y St Clair, 2004). Las de mayor tamaño, zorros, cánidos y lagomorfos, han cruzado mayoritariamente por pasos amplios independientemente de su localización respecto a la calzada (inferiores o superiores) o de su carácter mixto o específico. Estos resultados refuerzan el papel complementario de los distintos tipos de estructuras mostrado en el capítulo anterior (véase el apartado 6.4).

La variación estacional recogida en este estudio se ha reflejado en una marcada variación en la intensidad de uso, si bien no parece modificar los patrones de selección previamente descritos, al menos de una forma perceptible. Por lo tanto, se descarta la posibilidad de una utilización temporal de las estructuras relacionada con distintas fases del ciclo vital de las especies, lo cual es especialmente importante en el caso de los movimientos dispersivos de los jóvenes. El mayor número de registros obtenidos para todas las especies en el periodo estival se asocia a la mayor actividad que presentan, y con mayores densidades de individuos en el periodo post-reproductor. Así las diferencias son especialmente marcadas en determinados grupos como lacértidos y ofidios de actividad casi exclusivamente veraniega, tal y como se ha mencionado con anterioridad. Junto a este hecho, la frecuencia de paso para buena parte de las especies por los pasos seleccionados se mostraría como densodependiente, relacionada con sus picos de abundancia, tal y como han reflejado anteriores estudios (Camby y Mazaret, 1987; Rodríguez *et al.*, 1996; Rodríguez *et al.*, 1997). Ello explicaría lo observado para comadrijas, posiblemente debido a la mayor actividad desarrollada por los machos durante esta época del año, y conejos, especie cuyos máximos poblacionales son registrados a principios del verano (Blanco, 1998). Ambas especies muestran los casos más destacados de una mayor utilización de las estructuras en verano.

Por el contrario, el grupo en que se integran las dos especies de ratas de agua ha mostrado un mayor uso invernal. Durante el periodo estival, la presencia de zonas húmedas a las que se encuentran asociadas ambas especies se ve ostensiblemente mermada. Esta disminución en la disponibilidad de hábitat conduce a una reducción de sus áreas de campeo (Blanco, 1998), minimizando así la probabilidad de cruzar por cualquiera de las estructuras transversales a la autovía. Además, las obras de drenaje en esta zona de clima mediterráneo mantienen agua solo durante el invierno, siendo menos atractivas para estas especies.

A la vista de estos resultados, los estudios de efectividad de estas medidas correctoras se pueden optimizar planificando los periodos de control anual de modo que, o bien se ajusten con aquéllos de mayor actividad de las especies presentes en el área de estudio, o bien de aquéllas con mayor interés de conservación. Desde una perspectiva aplicada, y teniendo en cuenta que el patrón de selección resulta constante, las administraciones u organismos encargados de gestionar las infraestructuras viarias podrían establecer como requerimiento mínimo en los programas de vigilancia ambiental la realización de una o

dos campañas anuales de seguimiento. En áreas muy diversas o con especies migratorias, serían imprescindibles al menos dos campañas suficientemente representativas. De este modo, al simplificar los programas de seguimiento, se favorecería su puesta en marcha por las administraciones y podrían aplicarse de forma más generalizada. Así mismo, para un mismo presupuesto disponible, se podría ampliar el número de estructuras controladas o el tiempo de control de cada una de ellas. Se contribuiría así a un mayor conocimiento de la efectividad de estas medidas, y al mismo tiempo, se aceleraría el proceso de detección de los errores que entorpecen el correcto funcionamiento de éstas.

No obstante, cabe destacar la necesidad de combinar este tipo de controles básicos con otros de carácter intensivo, con seguimientos continuos a lo largo de todo el año, que, sin duda, aportan una información más detallada acerca de la evolución en el uso de los pasos por parte de la fauna y resultan imprescindibles a la hora de controlar a las especies más reticentes. También es importante considerar que tanto un tipo de seguimiento como el otro deben realizarse durante un largo periodo de tiempo (mínimo 5 años), con el fin de detectar los posibles cambios en la utilización de las estructuras por parte de las especies y poder emitir conclusiones fiables sobre la efectividad de estas medidas (Clevenger y Waltho, 2005).

7.5. CONCLUSIONES

Los patrones de selección por parte de las especies, a la hora de utilizar las estructuras transversales a la vía, están fundamentalmente determinados por el diseño de la estructura, con independencia de la época del año. Estos resultados, ponen de relieve una vez más, la complementariedad de los distintos tipos de estructuras en su labor por reducir el efecto barrera de las infraestructuras lineales.

La variación estacional se traduce principalmente en una variación en la intensidad de uso pero no, en cambios de los patrones de selección. La intensidad de uso se relaciona directamente con los periodos de mayor actividad de las especies, así, a lo largo del periodo estival, la utilización de los pasos por los vertebrados se incrementa considerablemente, y de forma especial en reptiles.

Desde una perspectiva aplicada y dirigido a los programas de vigilancia ambiental de nuevas infraestructuras viarias, se pueden establecer como requerimientos básicos controles de una o dos campañas anuales que se ajusten a los periodos de mayor actividad para las especies de interés. De este modo, se simplificarían los programas de seguimiento, facilitando así su cumplimiento y contribuyendo a un mayor conocimiento de la efectividad de estas medidas.



Capítulo 8.

¿Se mantienen los patrones de selección en la utilización de pasos de fauna por vertebrados? Validación con datos de la autovía A-231

8.1. INTRODUCCIÓN

La capacidad de predicción de una ciencia se utiliza comúnmente como criterio para evaluar el estado de salud de la misma, examinando su capacidad de generar teorías que puedan predecir exitosamente comportamientos del mundo real (Turchin, 2001; Colyvan y Ginzburg, 2003). La Ecología, y especialmente la aplicada, tiene como principal desafío incrementar dicha capacidad (Thompson *et al.*, 2001). Además, la creciente preocupación y una mayor conciencia social por los problemas medioambientales ejerce una importante presión sobre la Ecología: la sociedad demanda esta capacidad de predicción para que contribuya y ayude en la toma de decisiones a la hora de desarrollar planes de gestión y en el diseño de políticas (Cooper, 1998).

Indudablemente, cualquier parte de la naturaleza es única y tiene unas características específicas. Sin embargo, sólo a través de generalizaciones es posible realizar predicciones que sirvan como aproximación al funcionamiento de los ecosistemas (Breckling, 1992). Así mismo, tal y como defienden Vepsäläinen y Spence (2000), las generalizaciones son una poderosa herramienta en la investigación para entender relaciones entre patrones y explicar procesos en la naturaleza (O'Hara, 2005).

Es en esta búsqueda de generalidad donde los modelos resultan clave, como abstracción de la realidad mediante la expresión formal de las relaciones entre las entidades definidas en términos matemáticos o físicos (Jeffers, 1991).

Por todo ello, en este capítulo se plantea como principal objetivo analizar la generalidad de los resultados obtenidos en las fases previas de la investigación. Tal y como ha sido presentado en los capítulos anteriores, a lo largo de las diferentes campañas de control llevadas a cabo en la autovía A-52, se repiten patrones de selección en la utilización de los distintos pasos asociados a las especies. La existencia de estos patrones conduce a plantear una nueva hipótesis de trabajo, que se basa en la posibilidad de que estos

patrones se mantengan en otras zonas en las que estén presentes las mismas especies. Para comprobar si estos patrones son, en cierto modo, generalizables se ensaya un modelo predictivo a partir de los resultados de la autovía A-52, que será posteriormente validado con los datos procedentes del seguimiento realizado en otra autovía, la autovía A-231. Aunque idealmente, un modelo debe reflejar las causas del proceso, tal como sucede en este caso, puede tratarse de un modelo fenomenológico que, simplemente describa los patrones sin conocer las causas, y a partir del cual se formulan las predicciones (Cooper, 1998).

Cabe añadir que fruto del seguimiento llevado a cabo en la autovía A-231, se incorporan nuevos datos correspondientes a otras especies y en otras condiciones.

8.2. MATERIAL Y MÉTODOS

8.2.1. Áreas de estudio

El entorno bajo el cual se desarrolló esta fase de la investigación consta de dos escenarios distintos (capítulo 2, apartado 2.2). El primero de ellos corresponde al paisaje por el que discurre la autovía A-52, presentado en capítulos anteriores (apartados 5.2.1; 6.2.1. y 7.2.1). El segundo, corresponde al emplazamiento de la autovía del Camino de Santiago (A-231), cuyo trazado recorre tres provincias castellano-leonesas: León, Palencia y Burgos, uniendo con sus 157 kilómetros de longitud las localidades de León y Burgos (Figura 8.1).

En líneas generales, esta última vía discurre por un paisaje dominado por cultivos de cereal en secano que, en ocasiones, alterna con regadíos en las vegas. La vegetación natural de los páramos está constituida por bosquetes dominados por melojos (*Quercus pyrenaica*) y, en menor medida, por encinas (*Q. ilex*) y quejigos (*Q. faginea*) con pastizales intercalados. También existen extensas repoblaciones forestales, sobre todo de pinos albares (*Pinus sylvestris*), pudios (*Pinus nigra*) y en menor medida resineros (*Pinus pinaster*).



Figura 8.1. Localización del área de estudio. En trazo más grueso se representa la autovía A-231.

8.2.2. Selección de las estructuras objeto de seguimiento

Los datos básicos empleados para elaborar el modelo proceden del seguimiento en fases previas de 91 estructuras de la autovía A-52 (Tabla 8.1). La validación del mismo se realizó con los resultados procedentes del seguimiento de 40 estructuras transversales a la autovía A-231 repartidas en tres tramos, uno en cada provincia (Anexo VII). En ambas autovías se seleccionaron todas aquellas estructuras diseñadas específicamente para la fauna y una muestra representativa de los diferentes tipos presentes (Tabla 8.1).

Pese a las diferencias entre las estructuras de ambas autovías, se mantuvo la tipología asignada a las estructuras en los estudios realizados en la autovía A-52, aunque con algunas variaciones: (i) la exclusión de uno de los tipos, los pasos superiores mixtos, debido a la ausencia de series completas de datos en la A-231; (ii) la consideración de 7 drenajes sobredimensionados como pasos inferiores específicos para lo cual se tuvieron en consideración sus dimensiones (3-5 m de alto y 6-10 m de ancho); y, (iii) la inclusión de drenajes de chapa corrugados en la tipología de drenajes adecuados, o bien circulares, en función de sus dimensiones (drenajes adecuados: alto y ancho > 2 m).

Tabla 8.1. Características básicas de las estructuras sujetas a seguimiento en las dos autovías: tipo, número de estructuras controladas (N) y dimensiones.

^a un paso de 72 m y dos de 80 m; ^b un drenaje de 145 m y otro de 150 m, ^c un paso de 96 m;

^d un paso de 93 m; ^e un paso de 90 m, ^f un paso de 45,7 m de ancho y 1,7 de alto;

^g dos pasos de 72 m

DATOS DE ORIGEN (A-52)				TIPO	DATOS PARA LA VALIDACIÓN (A-231)			
Dimensiones (m)					Dimensiones (m)			
anchura	altura	longitud	N		N	anchura	altura	longitud
Ø 1,8		35 - 60 ^a	42	Drenajes circulares	7	Ø 0,8-1,8		38 - 55 ^d
1,7 - 4	1,7 - 3	36-50 ^b	17	Drenajes adecuados	16	2 - 3,5	1,5 - 2,5	36-58
4-17	4- 7,2	32-62	20	Pasos Inferiores Mixtos	7	6 -15	3- 7	31-62 ^e
9-20	4- 8	30-36 ^c	8	P. Inf. Específicos	9	6 -14 ^f	3- 5 ^f	30-56 ^g
14,7 - 20	-	60 - 62	4	P. Superiores Específicos	1	16	-	48

8.2.3. Sistemas de control y periodos de seguimiento

En ambas autovías se empleó como sistema de control el registro de huellas mediante marmolina, siguiendo la metodología descrita anteriormente (apartado 2.4.1).

El modelo se construyó a partir de los datos procedentes de un total de 1.430 días-paso de control, relativos a 4 campañas de seguimiento de las estructuras de la autovía A-52, una de las cuales no ha sido presentada hasta el momento (Tabla 8.2). Dicha campaña se llevó a cabo entre los meses de octubre y noviembre de 2001, periodo durante el cual se controlaron un total de 11 estructuras, 3 de las cuales fueron pasos superiores mixtos, que no fueron incluidos en este análisis (Anexo VIII). Los datos empleados para la validación del modelo, correspondientes al seguimiento de diferentes estructuras de la autovía A-231, pertenecen a dos periodos de control: el primero de ellos entre agosto y octubre de 2003, y el segundo entre junio y septiembre de 2004, con un total de 490 días-

paso de control (Tabla 8.2.) En cada una de las campañas los pasos fueron revisados diariamente hasta obtener datos de 10 días válidos.

Tabla 8.2. Características de los datos empleados para el modelo predictivo: tipo y número de estructuras controladas en cada campaña según la autovía. N: número total de estructuras diferentes controladas.

TIPO DE ESTRUCTURA	MODELO (A-52)					VALIDACIÓN (A-231)		
	Campañas de control				N _{A-52}	Campañas		N _{A-231}
	Mar-May	Oct-Nov	Jun-Sep	Feb-Abr		Ago-Oct	Jun-Sep	
	2001	2001	2002	2003		2003	2004	
Drenajes circulares	14	2	33	17	42	3	4	7
Drenajes adecuados	7	1	10	0	16	9	7	16
Pasos inferiores mixtos	7	3	14	10	21	6	3	7
P. inf. específicos	5	1	7	5	8	7	8	9
P. superiores específicos	4	1	2	0	4	1	1	1

8.2.4. Tratamiento de datos

De la misma forma que en capítulos precedentes, la unidad básica de análisis fue el número de días en los que la especie (o grupo faunístico) era detectada utilizando el paso. Para aquellas estructuras con más de un periodo de control se emplearon los promedios entre estos como unidad básica.

En la construcción del modelo para estimar las presencias esperadas de cada especie por tipo de paso en la autovía A-231 se siguieron los siguientes pasos:

- ⇒ En primer lugar, se llevó a cabo la formulación conceptual del modelo. Ésta fue muy sencilla, simplemente se planteó que los patrones de selección en la utilización de los pasos de fauna y demás estructuras transversales mostrada por los vertebrados terrestres en la autovía A-52 se mantendrían para las mismas especies en otra autovía diferente.

A continuación, la formulación del modelo propiamente dicha, se realizó a partir de los datos correspondientes a las campañas de muestreo llevadas a cabo en la autovía A-52. Se calcularon los índices de uso por tipo de paso para cada una de las especies/grupos faunísticos incluidos en el análisis. Cada índice de uso (IU) evidenció la utilización relativa de cada especie por cada tipo de estructura, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$IU = \frac{n_{ij} \bullet tp_j}{N_i \bullet TP}$$

donde n_{ij} correspondía al número de observaciones-días para una especie (o grupo de ellas) i en un tipo de paso j ; tp_j era el número de estructuras del tipo j ; N_i indicaba el número de observaciones-día para una especie (o grupo) i en el total de estructuras y TP era el número total de estructuras controladas. Los índices de

uso estarían reflejando cierta selección (positiva/negativa) por un tipo de paso frente al resto en forma de parámetro multiplicador (apartado 2.5).

- ⇒ En segundo lugar, a partir de los índices de uso obtenidos para cada una de las especies por tipo de paso en la A-52 y teniendo en cuenta el número de estructuras de cada tipo presentes en la autovía A-231, se procedió al cálculo de las presencias esperadas por especie y por tipo de paso en la A-231. El modelo predictivo quedó definido por la siguiente expresión:

$$P_{iTPpred} = 100 \cdot \frac{IU_{iTPobs} \cdot N_{TPpred}}{\sum_{TP} (IU_{iTPobs} \cdot N_{TPpred})}$$

donde $P_{iTP pred}$ era el porcentaje de observaciones esperadas (registro-día) para una especie (o grupo de ellas) i en un tipo de estructura TP ; $IU_{iTP obs}$ correspondía a los índices de uso relativo para dicha especie en cada tipo observado y $N_{TP pred}$ al número de estructuras del tipo definido para los cuales se realiza la predicción.

Una vez establecido el modelo se procedió a la validación del mismo con los datos correspondientes al seguimiento de 40 estructuras de la autovía A-231. Para ello, se utilizó un Modelo Lineal Generalizado a fin de comprobar el grado de ajuste de las predicciones respecto de las observaciones (GLM separate-slopes model; STATISTICA 6.1, Statsoft Inc. 2002). Se consideraron los valores observados como variable dependiente, mientras que los esperados se establecieron como predictor continuo. Para retirar los posibles efectos derivados de la naturaleza intrínseca a cada especie, se incluyó ésta como factor categórico de anidamiento. Debido a la ausencia de normalidad de los datos, tanto de los observados como de los esperados, se realizó su transformación logarítmica.

A continuación de este análisis conjunto se llevó a cabo un segundo análisis de carácter complementario, con el fin de conocer para qué especies se ajustaban mejor la predicción. Para ello, se estudió la correlación entre los valores observados y los esperados mediante correlaciones de Pearson para cada una de las especies/grupos faunísticos. A pesar de tratarse de un caso de inferencias múltiples no se aplicó la corrección secuencial de Bonferroni debido al bajo número de observaciones por especie sobre los que se realizó cada correlación, una por cada tipo de paso (5 observaciones por especie).

Por último, se comprobó si el número de observaciones empleadas para realizar la predicción o bien para la validación del modelo eran determinantes en el grado de ajuste del mismo. Para ello, como valor indicativo del ajuste del modelo se consideraron los valores de r^2 obtenidos para cada especie en el análisis previo y se analizó la correlación de éstos con el número mínimo de observaciones empleadas en la predicción o la validación del modelo. Este último análisis se realizó también mediante correlaciones de Pearson, después de haber realizado la transformación logarítmica de las observaciones mínimas para que éstas cumplieran el supuesto de normalidad.

8.3. RESULTADOS

El modelo predictivo se desarrolló únicamente para aquellas especies o grupos faunísticos que hubieran hecho uso de las estructuras transversales de la autovía A-52 y al mismo tiempo, estuvieran presentes en el área de estudio de la autovía A-231. El modelo finalmente se desarrolló para un total de 15 especies/ grupos de vertebrados terrestres (Tabla 8.3).

Los datos de origen en los que se basó el modelo proceden del control de 91 estructuras de la autovía A-52 y suponen un total de 835,42 registros-día. A partir de estos datos básicos se calcularon los índices de uso relativos para cada tipo de paso, que posteriormente dieron lugar a las presencias esperadas para la autovía A-231 (Tabla 8.3).

Tabla 8.3. Datos básicos del modelo predictivo: índices de uso relativo para cada una de las especies (grupo faunístico) por tipo de estructura de la autovía A-52 ($IU_{i TP obs}$; columna izquierda) y porcentaje de presencias esperadas para la autovía A-231 ($P_{i TP pred}$; columna derecha). DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico; PSE: paso superior específico. n: número de estructuras controladas.

	DC		DA		PIM		PIE		PSE	
	$IU_{i obs}$ (n=42)	$P_{i pred}$ (n=7)	$IU_{i obs}$ (n=16)	$P_{i pred}$ (n=16)	$IU_{i obs}$ (n=21)	$P_{i pred}$ (n=7)	$IU_{i obs}$ (n=8)	$P_{i pred}$ (n=9)	$IU_{i obs}$ (n=4)	$P_{i pred}$ (n=1)
Especie										
Erizo	0,24	2,33	0,00	0,00	1,17	11,25	7,02	86,42	0,00	0,00
Ardilla	0,00	0,00	5,69	100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Turón	0,00	0,00	0,00	0,00	3,25	47,06	2,84	52,94	0,00	0,00
Zorro	0,37	4,98	1,10	33,72	1,66	22,36	2,07	35,86	1,61	3,09
Corzo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,38	100	0,00	0,00
Grupo faunístico										
Anuros	0,61	7,49	2,63	73,86	0,93	11,42	0,46	7,23	0,00	0,00
Lacértidos	1,57	30,84	1,06	47,90	0,06	1,25	0,77	19,55	0,17	0,47
Ofidios	0,11	1,12	4,04	90,50	0,34	3,35	0,00	0,00	3,59	5,03
Micromamíferos	1,58	36,17	0,91	48,02	0,38	8,77	0,23	6,75	0,09	0,29
Rata	0,95	14,30	1,78	61,28	0,86	12,94	0,59	11,49	0,00	0,00
Rata de agua	0,98	12,20	3,10	87,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mustélidos pequeños	1,68	37,82	0,76	39,27	0,14	3,27	0,68	19,64	0,00	0,00
Lagomorfo	0,28	3,82	0,06	1,99	1,84	25,06	3,67	64,23	2,52	4,90
Gato	1,07	21,37	0,75	34,00	1,10	21,96	0,75	19,13	1,24	3,54
Cánido	0,49	7,95	0,81	29,79	1,98	32,09	1,30	27,00	1,37	3,17

En la validación del modelo se emplearon los datos correspondientes al seguimiento de 40 estructuras, periodo durante el cual se obtuvieron 660 registros-día para las especies a las que se aplicaba el modelo (Tabla 8.4). Cabe destacar que en la autovía A-231 además de las 15 especies empleadas en el modelo también se detectaron otras especies haciendo uso de las estructuras. Durante el periodo de control se registraron huellas de urodelos (*Pleurodeles waltl*, *Triturus* sp.; 0,035 registros/día) y de topo ibérico (*Talpa occidentalis*), este último en una única ocasión.

Tabla 8.4. Media de registros diarios por tipo de estructura de las especies y grupos específicos a lo largo de los 10 días de control mediante el registro de huellas en la autovía A-231. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto; PSE: paso superior específico. n: número de estructuras controladas.

	DC n=7	DA n=16	PIM n=7	PIE n=9	PSE n=1	Media
Especies						
Erizo	0,00	0,25	0,07	0,00	0,00	0,11
Ardilla	0,00	0,00	0,21	0,00	2,00	0,09
Topo ibérico	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,03
Turón	0,00	0,13	0,00	0,28	0,00	0,11
Zorro	1,00	0,31	1,36	0,78	1,00	0,74
Corzo	0,00	0,00	0,00	0,17	1,00	0,06
Grupos faunísticos						
Anuros	2,57	4,31	3,57	2,06	0,00	3,26
Urodelos	0,29	0,13	0,86	0,44	0,00	0,35
Lacértidos	0,57	0,69	0,07	0,28	1,50	0,49
Ofidios	0,00	0,38	0,00	0,22	0,00	0,20
Micromamíferos	7,00	6,06	7,14	5,89	3,50	6,31
Ratas	0,00	0,50	0,07	0,22	0,00	0,26
Ratas de agua	0,14	2,31	0,00	1,33	0,00	1,25
Mustélidos pequeños	1,71	1,06	0,00	0,33	0,00	0,80
Lagomorfos	0,43	0,06	1,00	0,22	0,50	0,34
Gatos	0,57	1,81	1,57	0,56	4,50	1,34
Cánidos	0,00	0,88	3,29	0,78	1,50	1,14

Así mismo, fuera ya del periodo de control habitual (10 días válidos), que fue prolongado para el estudio de aspectos metodológicos (apartado 4.2.1 del capítulo 4), se registraron 27 rastros de visón americano (*Mustela vison*), 2 de jabalí (*Sus scrofa*) y uno de nutria (*Lutra lutra*), todos ellos en pasos específicos para la fauna.

La utilización por parte de las 15 especies consideradas de los diferentes tipos de pasos de la autovía A-231 fue significativamente predecible (ANOVA, $p < 0,001$; Tabla 8.5).

Tabla 8.5. Resultados del Modelo Lineal Generalizado

	F	g.l.1	g.l.2	p
Predictor (especie)	5,402	15	45	< 0,001
Especie	0,791	14	45	0,673

El modelo predictivo se ajustaba sobre todo para anuros, lacértidos, micromamíferos y pequeños mustélidos (Tabla 8.6). Las predicciones para todos estos grupos resultaron significativamente correlacionadas con las observaciones, pese al bajo número de tipos de estructuras (r-Pearson, $p < 0,005$).

Tabla 8.6. Resultados de la comprobación del grado de ajuste del modelo para cada especie mediante correlaciones de Pearson. Se muestran los valores de r^2 y de probabilidad (p), marcándose en negrita los que resultaron significativos. Se detalla también, el número total de observaciones empleados para generar el modelo (N_{A-52}) y para validarlo (N_{A-231}).

	N_{A-52}	N_{A-231}	r^2	p
Especies				
Erizo	8,92	4,5	0,130	0,550
Ardilla	1	3,5	0,164	0,498
Turón	1,33	4,5	0,063	0,684
Zorro	158,17	29,5	0,361	0,284
Corzo	2	2,5	0,551	0,151
Grupo faunístico				
Anuros	24,83	130,5	0,935	0,007
Lacértidos	45,42	19,5	0,800	0,041
Ofidios	6,33	8	0,602	0,123
Micromamíferos	261,08	252,5	0,838	0,029
Rata	16	10,5	0,709	0,073
Rata de agua	11	50	0,418	0,239
Mustélidos pequeños	22,42	32	0,912	0,011
Lagomorfo	88,75	13,5	0,180	0,476
Gato	61	53,5	0,350	0,293
Cánido	127,17	45,5	0,703	0,076

El número mínimo de observaciones empleadas para realizar la predicción o la validación condicionó significativamente el grado de ajuste del modelo (Figura 8.2), estando relacionado positivamente el número de observaciones y el grado de ajuste (correlación Num. mínimo de observaciones-ajuste; $r_p = 0,57$; g.l.: 13; $p < 0,005$). En líneas generales, todas aquellas especies con menos de 10 observaciones presentaron un peor ajuste al modelo, si bien se produjeron algunas excepciones, y especies como el gato y el zorro, pese a contar con un elevado número de observaciones (29,5 y 53,5 respectivamente), no mostraron un ajuste acorde con éstas.

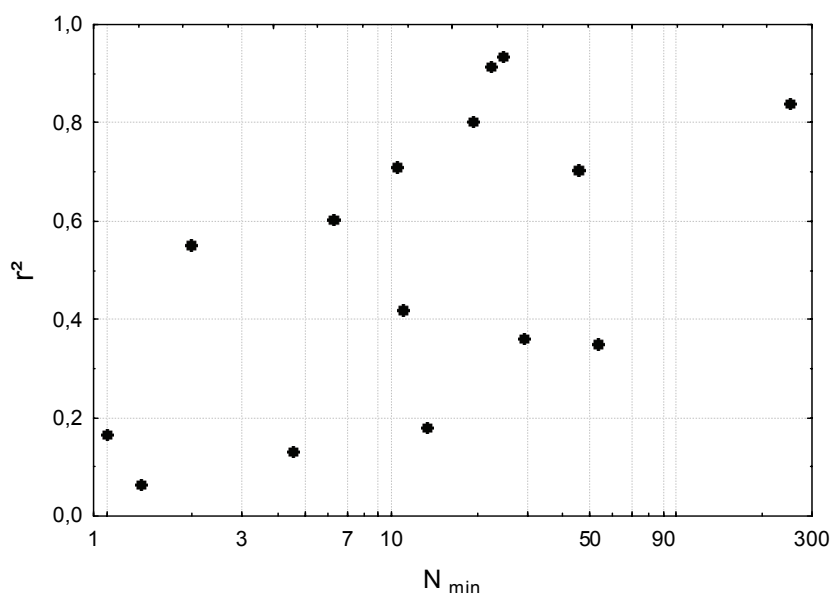


Figura 8.2. Relación entre el número mínimo de observaciones para cada especie (en escala logarítmica), independientemente de su procedencia (origen o validación) y el grado de ajuste de las predicciones frente a las observaciones (r^2 producto de las correlaciones de Pearson para cada especie, Tabla 8.6).

8.4. DISCUSIÓN

Hasta el momento, las investigaciones desarrolladas entorno a la utilización por parte de la fauna de las estructuras transversales se han centrado en la efectividad de estas medidas a la hora de reducir el efecto barrera. Investigaciones en las que se valora la influencia tanto de factores estructurales como del medio (ej. vegetación) y, en ocasiones, se examinan aspectos comportamentales de las especies a la hora de utilizar dichas estructuras (ver revisión en Forman *et al.*, 2003). No obstante, son trabajos todos ellos circunscritos a casos concretos (ej. una autovía o una línea de ferrocarril de alta velocidad), siendo éste el primero en examinar la posible generalidad de resultados obtenidos en estudios previos, poniendo a prueba su valor predictivo mediante la construcción de un modelo.

El modelo elaborado para predecir la utilización de los pasos de fauna por los vertebrados terrestres en la autovía A-231 presenta un buen ajuste respecto a los valores observados. Se trata de un modelo muy básico y que depende de pocos parámetros. Se basa fundamentalmente en la intensidad de uso mostrada por las especies en la autovía A-52 y a su vez, está condicionado por el número de estructuras de cada tipo presentes en la autovía para la que se realiza la predicción. Además de su sencillez, cabe destacar que en la validación del modelo se utilizan datos independientes procedentes del seguimiento de otra autovía, sin duda un hecho que refuerza su aceptación (Mayer y Butler, 1993; Guisan y Zimmerman, 2000; Jorgensen y Bendoricchio, 2001).

El modelo parece ajustarse de forma bastante fiel a la realidad observada para el conjunto de las especies, siendo especialmente notorio para anuros, lacértidos, micromamíferos y pequeños mustélidos, un hecho cuanto menos llamativo si se tiene en cuenta el bajo número de observaciones, una por tipo de paso.

El ajuste del modelo aparece directamente condicionado por el número de registros. No obstante, a este respecto cabe destacar que especies como el gato o el zorro, con un elevado número de registros, presentan un menor ajuste. Esta aparente excepción, posiblemente esté reflejando la utilización generalista de las estructuras transversales de estas especies, ambas sin un patrón de selección muy marcado, y por lo tanto, impredecible. Los resultados presentados hasta el momento en capítulos previos y correspondientes a la autovía A-52 así lo atestiguan (véanse los capítulos 5 y 6). Todos ellos reflejan cómo los gatos, en su mayoría domésticos según mostraron los controles fotográficos, utilizaron todos los tipos de estructuras de forma indistinta, mientras los zorros utilizaron todos los tipos pero presentaron cierta tendencia por los pasos amplios.

Una vez validado el modelo, es necesario establecer con cautela los límites de la generalización, sin olvidar que la capacidad de predecir datos independientes no implica que sea una representación precisa de la relación causa y efecto del sistema real (Rykiel, 1996). El modelo ha sido validado, sin embargo su verificación no es posible porque no se trata de un sistema cerrado. Se considera constante la selección de las estructuras por parte de las especies, pero se desconocen las causas que propician dicha selección, por lo tanto se ignora si es una representación válida de la realidad. En definitiva, los modelos deben ser siempre evaluados en términos relativos, y su valor predictivo debe ser

cuestionado en todo momento, especialmente si cambia el contexto bajo el cual fue formulado (Oreskes *et al.*, 1994).

A grandes rasgos, a partir de los resultados obtenidos se extrae como principal consideración que los patrones de selección tienen cierto grado de generalidad. La posible generalización de los patrones de uso de las diferentes estructuras por parte de los vertebrados terrestres, permitiría predecir qué tipo de estructuras transversales requiere una vía teniendo en cuenta la fauna local.

A este respecto, resulta de gran interés aunar y al mismo tiempo, ampliar el conocimiento sobre los patrones de selección de los vertebrados terrestres, en la utilización de los pasos de fauna y demás estructuras transversales a una vía. Sería conveniente utilizar la información procedente de estudios previos, así como la realización de nuevas investigaciones entorno al tema. De este modo se dispondría de una valiosa información correspondiente a un espectro más amplio de especies y a su vez, se incrementaría el número de observaciones para aquellas especies de las que ya se disponen datos, dotando de una mayor solidez a las predicciones resultantes del modelo.

En el caso de la autovía A-231 además de las 15 especies para las que se realizó el modelo se obtuvieron nuevos datos acerca de los patrones de selección de otras 2 especies/ grupos faunísticos más: urodelos y visón americano. El grupo de urodelos hizo un uso exclusivo de los pasos inferiores y de forma mayoritaria de aquellos más amplios, tanto mixtos como específicos. Pese a tratarse también de anfibios como los anuros, los resultados muestran una aparente selección que difiere a la presentada por estos últimos. La utilización de los pasos por el grupo de urodelos ha estado aparentemente más condicionada por la amplitud del paso, mientras que en anuros no se ha descrito como un factor muy determinante, habiéndose demostrado la eficacia de túneles de hasta 0,2 m de ancho (Bhrem, 1989). Así mismo, los visones americanos tampoco presentaron un patrón de selección similar a otros mustélidos incluidos en el modelo (comadreja/armiño y turón), éstos fueron más restrictivos y sólo utilizaron pasos inferiores específicos. En consonancia con los resultados presentados por Veenbaas y Brandjes (1999) para mustélidos, los visones presentaron cierta relación positiva entre la amplitud del paso y la frecuencia de uso. Son dos ejemplos más de patrones de selección, que ponen de manifiesto la importancia de obtener información específica.

En esta autovía también se obtuvieron registros de nutria, jabalí y topo ibérico haciendo uso de distintas estructuras, pero el número de observaciones resultó insuficiente para poder describir patrón de selección alguno.

En definitiva, desde una perspectiva aplicada las implicaciones de esta generalización de patrones son directas, especialmente de cara a una optimización en la planificación de las infraestructuras lineales, y particularmente en el diseño de las medidas correctoras destinadas a reducir el efecto barrera de estas obras sobre las poblaciones de vertebrados terrestres.

Sin entrar en detalle en las recomendaciones que pudieran derivarse de estas generalizaciones, que han sido expuestas en capítulos previos y recibirán un tratamiento más extenso en el siguiente capítulo, en todo momento la escala de trabajo debe ser muy amplia, tanto espacial como temporal.

Desde la perspectiva espacial, la evaluación del impacto de una infraestructura viaria debe ser realizada a una escala regional que contemple los impactos acumulados, con el fin de salvaguardar aquellos corredores naturales que provengan de otras áreas, dotándolos de continuidad y favoreciendo la conexión entre hábitats a una escala más amplia. Así mismo, la ubicación de los pasos de fauna debe ajustarse a los patrones generales del paisaje, haciéndolos coincidir con zonas que funcionalmente mantengan la conectividad del mismo (Forman *et al.*, 2003). Para ello se hace indispensable la aplicación de la Ley 9/2006 de 28 de abril de 2006, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente, relativa a la evaluación ambiental estratégica para planes como los de infraestructuras de transporte.

Por otro lado, a la hora de afrontar el diseño de estas medidas correctoras resulta así mismo imprescindible ampliar la escala temporal, deben considerarse aspectos como la expansión de determinadas especies (véase como claro ejemplo en la Península Ibérica la expansión del corzo o el jabalí; Palomo y Gisbert, 2002) y la potencialidad de los hábitats que quedan interrumpidos por la infraestructura de ser recolonizados por especies que en el momento de la planificación de la obra no estuvieran presentes.

En líneas generales, estos resultados deben considerarse como un primer paso en la búsqueda de la generalización de los patrones de uso de los vertebrados terrestres en los pasos de fauna de las infraestructuras lineales. Acaso podría tratarse de un modelo válido para otras áreas en las que el paisaje también haya sido modelado por el hombre y que compartan una fauna similar, en cierto modo, podría ser extensible a buena parte de la Península Ibérica. Si bien el modelo establecido ganará en potencia en la predicción si es validado con nuevos casos y su efectividad final dependerá de cuan universal puede llegar a ser su aplicación (Côte y Reynolds, 2002).

8.5. CONCLUSIONES

A tenor de los resultados obtenidos se puede concluir que es posible la generalización de los patrones de selección encontrados de los vertebrados terrestres en la utilización de los pasos y demás estructuras de una infraestructura viaria. La validación del modelo muestra un correcto ajuste a la realidad observada. No obstante, la robustez del modelo predictivo está directamente condicionada por el número de observaciones, por lo que interesa reunir conocimientos para incrementar el número de observaciones y obtener así, las mejores predicciones posibles.

El modelado de los patrones de uso de los pasos de fauna y demás estructuras transversales por los vertebrados terrestres puede constituir una importante herramienta para el diseño y planificación de estas medidas correctoras en función de la fauna presente.

La generalización de estos patrones aporta un nuevo enfoque a escala local para abordar el diseño y la planificación de estas medidas, pero debe ser complementado desde una escala espacio-temporal más amplia para que estas medidas sean efectivas también a largo plazo.

Capítulo 9.

Análisis general y Conclusiones finales

9.1. INTRODUCCIÓN

En este último capítulo, y de forma paralela al establecimiento de las principales conclusiones de esta tesis doctoral, se han reunido en una gran muestra todas las campañas de control llevadas a cabo en la autovía A-52, con el fin de realizar un análisis general. Este análisis permitirá, por un lado, evaluar la consistencia de los patrones descritos en los capítulos anteriores, y por otro, ofrecerá la posibilidad de detectar otras tendencias quizás más débiles, que puedan quedar reflejadas sin embargo, al contar con un tamaño muestral mayor. Los resultados de dicho análisis serán discutidos ampliamente y desde una perspectiva integral, a modo de discusión final de la tesis doctoral.

La discusión final del capítulo no sólo se basa en los resultados derivados del seguimiento de la autovía A-52, también se han considerado aquellos procedentes del control de los pasos de la autovía A-231.

Para finalizar, se presentan las principales conclusiones derivadas de la presente disertación, que lejos de asentar dogma alguno en este amplio tema, constituyen poco más que los primeros pasos, de una interesante línea de investigación emprendida hace más de una década por el grupo de Ecología Terrestre del Departamento de Ecología de la Universidad Autónoma de Madrid, y a la que sin duda, le resta un largo camino por recorrer.

9.2. MATERIAL Y MÉTODOS

9.2.1. Datos básicos

En este análisis global, se consideran todas las campañas de control realizadas en la autovía A-52 presentadas con anterioridad en los capítulos 5, 6 y 7. Se incluye además, una campaña otoñal llevada a cabo entre los meses de septiembre y noviembre

de 2001, la cual sólo ha sido parcialmente utilizada en el desarrollo del modelo predictivo en el capítulo anterior y que se muestra de forma más detallada en el Anexo VIII.

El área de estudio comprende por lo tanto, el entorno de diferentes tramos de la autovía de las Rías Bajas (A-52), desde la población de Benavente (Zamora) hasta Orense (ppkk 2+750-217+000), y cuya descripción ha sido presentada en capítulos previos (apartado 2.2.1).

Para el análisis se han tenido en cuenta los resultados procedentes del seguimiento mediante registro de huellas de un total de 113 estructuras, 62 de las cuales fueron controladas en más de una temporada, con lo cual, la suma total de observaciones asciende a 175 (Tabla 9.1). Así mismo, de forma complementaria se consideran los datos derivados del seguimiento mediante sistemas fotográficos de 53 estructuras, de las cuales 35 fueron controladas en más de una campaña. Los datos obtenidos a través de este segundo sistema se utilizan para determinar la identidad de aquellas especies cuyas huellas están sujetas a confusión.

Tabla 9.1. Características básicas de las estructuras sujetas a seguimiento mediante el registro de huellas: tipo, número de estructuras controladas por campaña de muestreo, número total (N) y dimensiones. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto; PSE: paso superior específico.

^a un paso de 72 m y dos de 80 m; ^b un drenaje de 145 m y otro de 150 m, ^c un paso de 96 m.

Tipo	Campañas de control				N	Dimensiones (m)		
	Primavera 2001	Otoño 2001	Verano 2002	Invierno 2003		anchura	altura	longitud
DC	14	2	33	17	42	Ø 1.80		35 - 60 ^a
DA	7	1	10	0	17	1,7 - 4	1,7 - 3	36-50 ^b
PIM	7	3	14	10	20	4 - 17,0	4- 7,2	32-62
PIE	5	1	7	5	8	9,0 - 20	4- 8,0	30-36 ^c
PSM	6	3	16	7	22	7,1	-	58-64
PSE	4	1	2	0	4	14,7 - 20	-	60 - 62

* Nótese que el número total de estructuras controladas (N=113) no equivale a la suma de los totales parciales, dado que algunas estructuras fueron controladas de forma repetida en distintas campañas.

9.2.2. Tratamiento de datos

Al igual que en los capítulos anteriores, se mantiene como dato básico, a partir del cual se desarrollan todos los análisis, el número de días que la especie (o grupo faunístico) es detectada, mediante el registro de huellas, utilizando el paso. Para aquellas estructuras controladas en más de una campaña se calcula el promedio. Los datos obtenidos a través del sistema fotográfico se utilizan exclusivamente para estimar la importancia relativa de las distintas especies que conforman cada uno de los grupos faunísticos definidos (apartado 2.4.1.1). No obstante, no siempre es posible identificar

con las fotografías a nivel de especie. Especialmente problemáticos resultan los grupos que engloban especies de pequeño tamaño, tales como anuros, lacértidos, ofidios y micromamíferos, para los que, la calidad de las imágenes resulta insuficiente para su identificación.

Se calcula el índice de uso (I.U.) para cada una de las estructuras controladas. Este índice, definido en el apartado 2.5. y herramienta habitual de análisis en la exploración inicial de buena parte de los resultados presentados en esta tesis (capítulos 5, 6, 7 y 8), muestra la utilización relativa de cada tipo de estructura por cada una de las especies. En una primera aproximación a los resultados, se analizan las posibles diferencias en la intensidad de uso relativo según el tipo de estructura y en función de la época del año. Por un lado, las diferencias en la utilización por los vertebrados terrestres de los distintos tipos de estructuras transversales se analizan mediante un ANCOVA, en el cual se incluye el índice de uso de cada una de las estructuras como variable dependiente, el tipo de paso como factor y la localización geográfica (pk) como covariante. Por otro lado, la existencia o no de variaciones estacionales en la utilización de los pasos se examina mediante el test de Wilcoxon, comparando de forma pareada cada una de las estaciones del año. El reducido tamaño muestral de la campaña otoñal limitaba en demasía un posible análisis conjunto que incluyera simultáneamente todas las estaciones del año, por lo que se optó por este análisis fraccionado por pares y de tipo no paramétrico para poder realizar las comparaciones con tamaños muestrales reducidos.

A continuación, se realiza un análisis exploratorio para detectar posibles patrones generales en el uso de las estructuras por las especies, mediante un escalado multidimensional (MDS) de proximidades. Para ello, se emplea el programa PROXSCAL incorporado en la versión SPSS 12.0 (SPSS Inc., 2003). Se consideran los registros obtenidos en los 175 casos, correspondientes a las cuatro campañas realizadas. Para la ordenación de las observaciones se utiliza la distancia euclídea como índice de similitud y el procedimiento estándar de ordenación provisto por el programa estadístico. Basándose en los valores de ajuste obtenidos (stress) se opta por la utilización de la solución en dos dimensiones.

Seguidamente, para comprobar si se distinguen patrones en la utilización de las estructuras por parte de las especies se realiza un MANCOVA (STATISTICA 6.1, Statsoft Inc., 2002) aplicado a sus posiciones (x, y). Dado que, un total de 62 estructuras cuentan con más de una campaña de observaciones, y teniendo en cuenta los resultados presentados en el capítulo 7, relacionados con la ausencia de una variación estacional significativa en los patrones de selección de los pasos por parte de la fauna, se calculan las posiciones medias para cada una de estas estructuras. Finalmente, el análisis se realiza para un total de 113 estructuras, considerando la posición definida por las coordenadas x e y de cada una de ellas como variables dependientes y el tipo de paso como factor. Así mismo, se incluyen nuevamente las 4 covariantes empleadas en el análisis presentado en el capítulo 6, con el fin de comprobar si el resultado se mantiene al aumentar el tamaño muestral: (i) la posición del paso en la carretera (pK), (ii) la actividad humana, representada por la suma de registros derivados del tránsito por los pasos de

personas a pie, ganado y vehículos (ver anexo IX), (iii) la distancia en metros a zonas urbanizadas y (iv) la proximidad a cobertura arbustiva también medida en metros.

Las especies más explicativas a la hora de interpretar las posiciones en las dos dimensiones (x,y) del MDS se establecen mediante correlaciones de Spearman, seleccionando aquellas especies que mantenían valores de $p < 0,05$ tras aplicar la corrección de probabilidad secuencial de Bonferroni (Rice, 1989). Para detectar una posible variación de las especies relacionadas con aquellas covariantes que resulten significativas también se realizan correlaciones de Spearman. En ambos caso, para aquellas estructuras con más de una observación se utiliza la media de las presencias diarias.

Para finalizar, se examinan los resultados a nivel de especie, a fin de detectar aquellas especies o grupos faunísticos que presentan diferencias significativas en la utilización de los diferentes tipos de pasos. Se explora esta posible selección diferencial para cada una de las especies registradas mediante el test no paramétrico de Kruskal- Wallis debido a la ausencia de normalidad de los datos. Al tratarse de un cálculo de inferencias múltiples, se aplica una vez más la corrección secuencial de Bonferroni para corregir la probabilidad obtenida.

9.3. RESULTADOS

9.3.1. Especies detectadas utilizando las estructuras de paso

En el cómputo global, considerando los cuatro periodos de control se han obtenido 1.774 registros de huellas de vertebrados, cifra que equivale a una media de 1,01 rastros por día y paso. Entre las 21 especies y grupos faunísticos registrados, los micromamíferos, cánidos, zorros y lagomorfos fueron los más detectados cuando hicieron uso de las diferentes estructuras. Con frecuencias algo menores se registraron tejones y gatos; el resto de las especies lo fueron con frecuencias muy inferiores (Tabla 9.2).

Tabla 9.2. Media de registros diarios por estructura de las especies y grupos específicos a lo largo de los 10 días de control en la autovía A-52. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico; PSM: paso superior mixto; PSE: paso superior específico. n: número de estructuras controladas.

	DC	DA	PIM	PIE	PSM	PSE	Media
	n=42	n=17	n=20	n=8	n=22	n=4	
Especies							
Erizo	0,002	0	0,012	0,069	0,005	0	0,0088
Lirón careto	0,001	0	0	0	0	0	0,0004
Ardilla	0	0,006	0	0	0	0	0,0009
Turón	0	0	0,005	0,004	0	0	0,0012
Tejón	0,030	0,231	0,083	0,099	0,005	0	0,0673
Gineta	0,004	0,000	0,010	0,019	0	0	0,0044
Zorro	0,064	0,191	0,289	0,294	0,151	0,279	0,1646
Corzo	0	0	0	0,017	0	0	0,0012
Ciervo	0	0	0,006	0,008	0,005	0,108	0,0065
Jabalí	0	0	0	0,030	0,009	0,121	0,0082
Grupos faunísticos							
Anuros	0,017	0,072	0,025	0,013	0,012	0	0,0243
Lacértidos	0,081	0,053	0,003	0,030	0,028	0,008	0,0461
Ofidios	0,001	0,028	0,002	0	0,005	0,025	0,0065
Micromamíferos	0,454	0,263	0,110	0,057	0,383	0,025	0,3058
Ratas	0,017	0,031	0,015	0,010	0,015	0	0,0171
Ratas de agua	0,012	0,038	0	0	0	0	0,0097
Lagomorfos	0,027	0,006	0,180	0,325	0,189	0,246	0,1129
Mustélidos pequeños	0,041	0,019	0,004	0,017	0,005	0	0,0207
Mustélidos medianos	0	0,006	0,002	0,003	0	0	0,0015
Gatos	0,073	0,05	0,074	0,050	0,072	0,083	0,0683
Cánidos	0,069	0,112	0,277	0,165	0,317	0,192	0,1733

El número total de imágenes obtenidas mediante el sistema fotográfico en los 940 días-paso de control asciende a 7.223. Si se consideran únicamente los contactos fotográficos, tomando como unidad el total de imágenes obtenidas de una misma especie en un mismo día independientemente del número de ellas, el número se reduce a 1.343 contactos. Y al eliminar los contactos derivados de la actividad humana (personas a pie, ganado y vehículos) y los relativos a aves, el número desciende a 564 detecciones (especies-día) que corresponden a diversas especies de vertebrados.

El número de detecciones se reduce a 226 especies-día si se consideran únicamente las especies sujetas a confusión, destacando entre ellas 16 contactos pertenecientes a pequeños mustélidos, de los cuales el 75,0 % corresponden a comadrejas y el 25,0 % restante a armiños (fotografía 9.1). En relación con los mustélidos de tamaño mediano, sólo se ha obtenido un contacto relativo a una garduña. De los 83 registros de lagomorfos, el 33,7% se refieren a conejos y el 66,3% restante a liebres.



Fotografía 9.1. Armiño atravesando un drenaje circular de la autovía A-52

En cuanto a los gatos, se obtuvieron 39 registros de gato doméstico, y sólo uno de gato montés en un paso inferior específico. Por último, de los 86 registros de cánidos, el 87,2% correspondieron a perros, repartidos por todos los tipos de paso, y tan sólo un 12,8% fueron de lobo, habiéndose obtenido en su gran mayoría en pasos superiores (10 contactos sobre 11), tanto específicos como mixtos.

9.3.2. Selección de las estructuras por los vertebrados: patrones generales

Todos los tipos de estructuras han sido utilizados y presentan un índice de uso similar (media \pm error típico: $1,05 \pm 0,005$; Figura 9.1), que reflejan la ausencia de diferencias significativas entre tipos de paso (ANCOVA, $F= 1,91$; g.l.:5; $p> 0,05$). No obstante, los pasos inferiores específicos presentan el índice de uso más alto (I.U.= 1,15), mientras que en los drenajes circulares se registra el más bajo, por debajo del esperado (I.U. = 0,85).

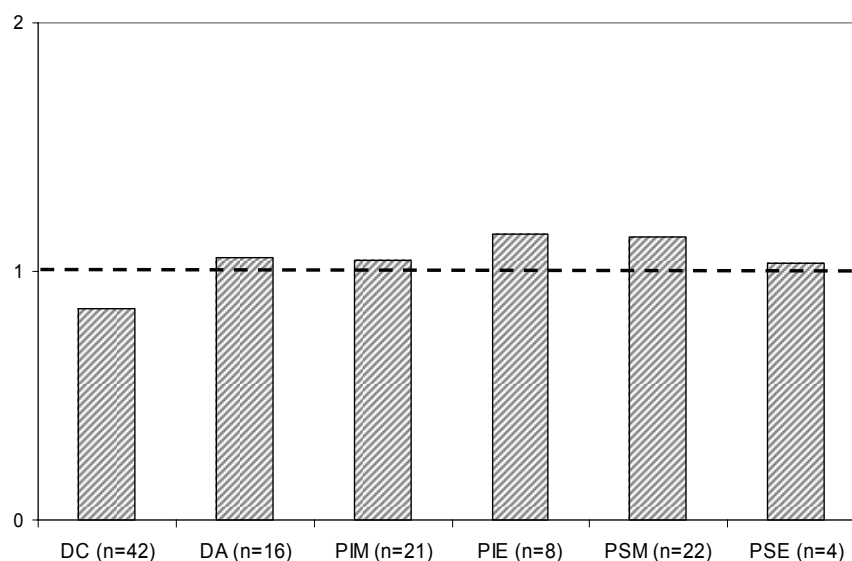


Figura 9.1. Índices de uso medio detectado por cada uno de los diferentes tipos de estructuras en la autovía A-52 considerando las 113 estructuras y el índice uso promedio para aquellos casos en los que existía más de un control. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto; PSE: paso superior específico. n: número de estructuras controladas.

En cambio, el posterior análisis distinguiendo la época del año en la que se realizó el control, sí muestra diferencias significativas en los índices de uso. La estación en la que se ha registrado una mayor intensidad de uso de los pasos ha sido el verano (índice de uso medio \pm error típico: $1,34 \pm 0,006$). Mientras que, en los controles llevados a cabo en primavera y otoño, el índice de uso promedio para el conjunto de las estructuras ha resultado algo menor al esperado (índice de uso medio \pm error típico: $0,97 \pm 0,014$ y $0,95 \pm 0,061$ respectivamente). Las diferencias más claras se observan al comparar la intensidad de uso relativo registrada en la campaña invernal frente al resto, siendo éstas estadísticamente significativas (índice de uso medio \pm error típico: $0,97 \pm 0,006$; Tabla 9.3)

Tabal 9.3. Resultados de la comparación estacional de los índices de uso obtenidos en cada una de las cuatro estaciones del año mediante el test de Wilcoxon (g.l.: 1). Se presentan los valores de z, la probabilidad estimada (p) mostrando en negrita los valores significativos y el número de pasos comparados (n).

		Otoño 2001	Verano 2002	Invierno 2003
		n=7	n=16	n=13
Primavera 2001	z	0,314	1,533	3,075
	p	0,7532	0,1252	0,0021
			n=7	n=5
Otoño 2001	z		1,363	2,023
	p		0,1730	0,0431
				n=48
Verano 2002	z			2,043
	p			0,0410

En la ubicación espacial de los distintos tipos de estructuras en el MDS (Figura 9.2.) se observa cierta segregación. Confirmando esta primera apreciación, aparece en el test MANCOVA este factor como altamente significativo ($p < 0,001$). No obstante, la localización geográfica de la estructura, representada por el punto kilométrico de la misma (pk) y la distancia a zonas urbanizadas del paso poseen también un efecto significativo en la ordenación final (Tabla 9.4).

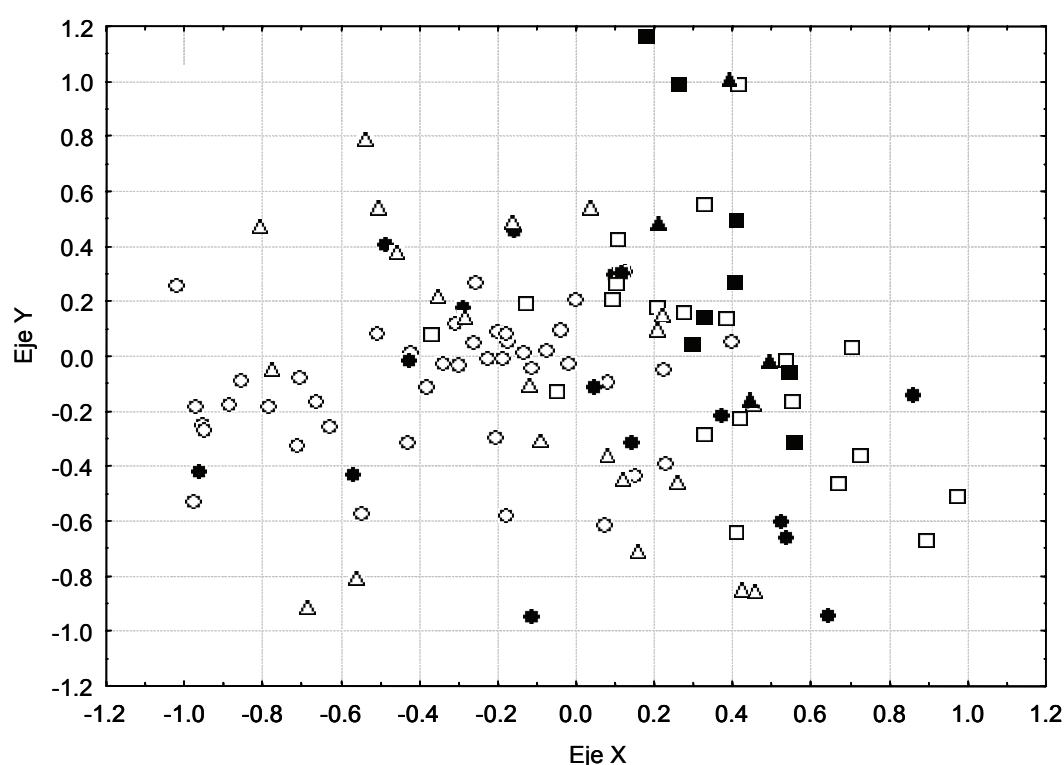


Figura 9.2. Representación gráfica de la distribución de las diferentes estructuras en los ejes x e y, obtenida en la ordenación del escalado multidimensional realizado a partir de los registros de la fauna detectada cruzando por las estructuras transversales a la autovía A-52. Se diferencian los distintos tipos de estructuras analizadas: drenajes circulares (círculos en blanco), drenajes adecuados (círculos negros), pasos inferiores mixtos (cuadrados en blanco), pasos inferiores específicos (cuadrados en negro), pasos superiores mixtos (triángulos en blanco) y pasos superiores específicos (triángulos en negro).

Tabla 9.4. Resultados del MANCOVA sobre el efecto del tipo de paso y las covariantes sobre la posición de las estructuras en los ejes x, y, del MDS que sintetiza los patrones de variabilidad de uso las mismas por los vertebrados.

		λ de Wilk	F	g.l.1	g.l.2	p
FACTOR	Tipo	0,505	8,305	10	204	<0,001
COVARIANTES	Ubicación (pk)	0,899	5,751	2	102	0,0043
	Actividad humana	0,966	1,776	2	102	0,1746
	Distancia a zonas urbanizadas (m)	0,923	4,252	2	102	0,0168
	Distancia a setos (m)	0,997	0,157	2	102	0,8548

El análisis *a posteriori* de las diferencias entre tipos de paso (Tabla 9.5) puso de manifiesto que los vertebrados que cruzaron a través de los drenajes circulares resultaron significativamente distintos de los que lo hicieron a través de cualquier otro tipo de estructura, a excepción de los drenajes adecuados. Así mismo, aunque de forma marginalmente significativa, la fauna que utilizó los pasos superiores mixtos resultó significativamente distinta de la que cruzó a través de drenajes y pasos inferiores, tanto de tipo normal como específicos para la fauna, y los pasos inferiores mixtos mostraron también una fauna significativamente distinta de aquella que utilizó los drenajes adecuados.

Tabla 9.5. Resultado del análisis de comparación *a posteriori* de las diferencias existentes entre tipos de paso en la fauna detectada mediante el registro de huellas cruzando por los mismos sintetizada mediante su posición en los ejes x, y del MDS. Se presentan el valor de la λ de Wilks (línea superior) y la probabilidad asociada a la misma (línea inferior) correspondientes a los MANCOVAs de comparación por pares, señalándose en negrita las probabilidades que resultan significativas ($p < 0,05$) tras la corrección secuencial de probabilidad de Bonferroni. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto; PSE: paso superior específico.

	PSE	PSM	PIE	PIM	DA
DC	0,690 0,001	0,839 0,007	0,554 <0,001	0,702 <0,001	0,922 0,122
DA	0,732 0,112	0,957 0,495	0,663 0,025	0,801 0,036	
PIM	0,582 0,010	0,764 0,009	0,740 0,042		
PIE	0,524 0,199	0,729 0,026			
PSM	0,621 0,011				

Con el fin de determinar qué especies están condicionando en mayor medida la ubicación diferencial de los tipos de pasos en la ordenación, se examinan las correlaciones entre las especies y los ejes del análisis. Así, los valores negativos del eje x se asocian significativamente (correlación de Spearman, $p < 0,05$ tras la corrección secuencial de Bonferroni) con la presencia de ratones y lacértidos, apareciendo en esta parte del eje los drenajes circulares y los pasos superiores mixtos (Figura 9.3. y Tabla 9.5). Por el contrario los valores positivos del eje x se asocian con tejón y gato, apareciendo en esta parte del eje los pasos inferiores mixtos y los drenajes adecuados. Así mismo, asociados a los valores positivos del eje x y también a los valores negativos del eje y se encuentran zorros y cánidos, donde aparecen los pasos inferiores mixtos. Los valores positivos del eje y se asocian significativamente al grupo lagomorfos, donde se sitúan los pasos específicos superiores e inferiores.

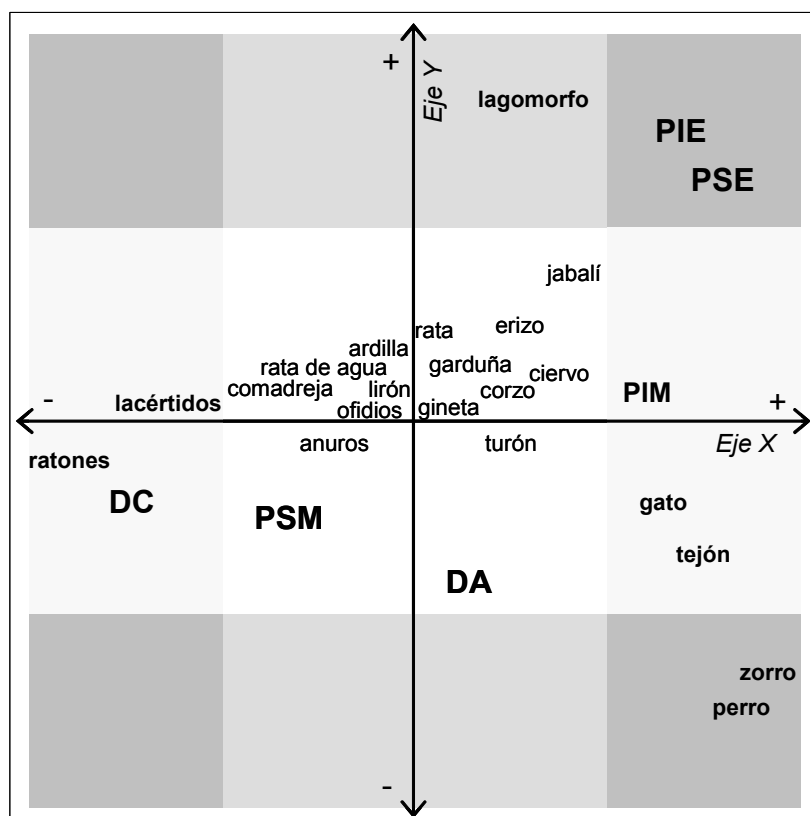


Figura. 9.3. Representación gráfica de carácter figurativo de los resultados obtenidos a partir de las correlaciones de Spearman entre las posiciones MDS (x,y) de cada uno de los 113 pasos analizados y cada una de las especies. En los cuadrantes grises oscuros se sitúan aquellas especies correlacionadas significativamente con los dos ejes; en los grises de tono intermedio las especies correlacionadas significativamente con el eje y; en los grises más claros las correlacionadas con el eje x. En los cuadrantes blancos se encuentran las especies cuyas correlaciones no resultaron significativas. También se han representado los distintos tipos de paso a partir de su posición media en el MDS (Tabla 9.6).

Tabla 9.6. Posiciones medias de los ejes x- y del escalado multidimensional para cada tipo de paso.

Tipo	X media	Y media
Drenaje circular	-0,3380	-0,0942
Drenaje adecuado	0,0588	-0,2040
Paso Inferior Mixto	0,3403	0,0080
Paso Inferior Específico	0,3708	0,3445
Paso Superior Mixto	-0,1354	-0,0990
Paso Superior Específico	0,3831	0,3320

En relación con la influencia ejercida por las covariantes que resultaron significativas en el MANCOVA (Tabla 9.4.), por un lado, se observa que respecto al gradiente geográfico, la frecuencia de lagomorfos y micromamíferos se correlaciona negativamente con el valor de los p.k. del gradiente oriental-occidental de la autovía (correlación de Spearman, $p < 0,01$), al contrario que los tejones, aunque en este caso solo fuese marginalmente significativa ($p = 0,019$; aunque $p > 0,05$ cuando se aplica la corrección de Bonferroni). Por otro lado, la distancia a zonas urbanizadas se correlaciona negativamente con la abundancia de micromamíferos (correlación de Spearman, $p < 0,01$ después de aplicar la

corrección secuencial de Bonferroni) y positivamente con mustélidos de pequeño tamaño, aunque esta última de forma marginalmente significativa ($p = 0,003$; aunque $p > 0,05$ cuando se aplica la corrección de Bonferroni).

9.3.3. Selección de las estructuras por los vertebrados: patrones interespecíficos

El análisis comparativo especie por especie de la utilización de las estructuras mediante el test de Kruskal Wallis refleja un uso significativamente diferencial de los diferentes tipos de pasos ($p < 0,01$ tras la corrección secuencial de Bonferroni) en ocho de las especies/grupos faunísticos (Tabla 9.7). Según estos resultados, las tres especies de ungulados registradas, ciervo, corzo y jabalí han utilizado preferentemente y casi de forma exclusiva los pasos específicos, tanto superiores como inferiores. Por el contrario, micromamíferos y cánidos, aunque han utilizado todos los tipos de pasos, han cruzado la vía principalmente por pasos de tipo mixto. Los micromamíferos por drenajes circulares y pasos superiores mixtos, y los cánidos por pasos inferiores y superiores mixtos. Lagomorfos y zorros han hecho un uso predominante de las estructuras de tipo amplio, tanto de pasos inferiores como superiores, independientemente de la especificidad del diseño. Finalmente, el tejón ha cruzado mayoritariamente por drenajes adecuados y pasos inferiores tanto específicos como mixtos.

Tabla 9.7. Resultado de la comparación de la utilización de los diferentes tipos de estructuras de la autovía A-52 por cada especie. Se muestran los valores de Heterogeneidad y los valores de probabilidad (p) del test Kruskal Wallis (N: 113 y g.l.: 5), marcándose en negrita los que resultan significativos tras aplicar la corrección secuencial de Bonferroni ($p < 0,05$).

Especies	H	p
Erizo	9,612	0,087
Lirón careto	1,690	0,890
Ardilla	6,063	0,300
Turón	7,745	0,171
Tejón	18,279	0,003
Gineta	3,706	0,593
Zorro	29,845	<0,001
Corzo	26,484	<0,001
Ciervo	21,655	<0,001
Jabalí	51,325	<0,001
Grupos faunísticos		
Anuros	3,573	0,612
Lacértidos	12,162	0,033
Ofidios	8,075	0,152
Micromamíferos	34,832	<0,001
Ratas	3,090	0,686
Ratas de agua	10,166	0,071
Lagomorfos	39,944	<0,001
Mustélidos pequeños	10,577	0,060
Mustélidos medianos	5,879	0,318
Gatos (<i>Felis</i> sp.)	3,228	0,665
Cánidos (<i>Canis</i> sp.)	30,098	<0,001

9.4. DISCUSIÓN GENERAL

En líneas generales el resultado más destacado es, indudablemente, el elevado número de especies que han utilizado las diferentes estructuras transversales de las dos vías objeto de estudio. No obstante, debido a las limitaciones inherentes a la metodología empleada, tanto del registro de huellas como del sistema fotográfico, no ha resultado factible la identificación a nivel de especie en determinados grupos tales como, anuros, urodelos, lacértidos, ofidios y micromamíferos (ratones, musarañas y topillos). Por todo ello, en la presente tesis doctoral se evalúan y discuten los resultados obtenidos para cada uno de estos grupos sin distinguir especies, condicionando en cierta medida el alcance de las conclusiones relacionadas con dichos grupos. No cabe duda de que, para una correcta evaluación de la utilización de tales medidas correctoras por parte de estos grupos, resultaría indispensable la realización de estudios complementarios de carácter específico. Éstos resultarían especialmente valiosos en áreas en las que se encuentren especies amenazadas, de gran interés para la conservación. En dichos trabajos se deberían emplear métodos tales como la captura-recaptura para la correcta identificación de las especies.

En lo que respecta a los mamíferos presentes o cuya distribución potencial coincide con áreas próximas a las dos autovías (Palomo y Gisbert, 2002), y cuya identificación es posible a nivel de especie, únicamente el desmán ibérico (*Galemys pyrenaicus*) no ha sido detectado utilizando las estructuras. Este endemismo ibérico vive en las cabeceras de los ríos y presenta áreas de campeo muy reducidas (Nores *et al.*, 2002), por lo que, resulta poco probable que habite los alrededores de ambas autovías. No obstante, de existir poblaciones próximas a dichas infraestructuras y dado que se trata de una especie ligada a cursos fluviales, podría estar haciendo uso de los viaductos, cuyo control fue descartado desde el comienzo del estudio, siéndole asignada la máxima permeabilidad (apartado 2.3.5).

Otras ausencias a destacar, aunque tan sólo en los registros del control de pasos de la autovía A-52, han sido: nutrias, urodelos y galápagos. Los dos primeros sin embargo, sí han hecho uso de las estructuras en la autovía A-231, por lo que quizás, estos resultados estén reflejando una baja densidad de las especies en la zona. De forma similar, podría explicarse la ausencia de registro de las dos especies de galápagos citadas en el área: galápago leproso (*Mauremys leprosa*) y galápago europeo (*Emys orbicularis*). Ambas especies están catalogadas en España como vulnerables por presentar poblaciones reducidas y fragmentadas, principalmente en el caso del galápago europeo que muestra una alta preferencia por hábitats poco alterados y con escasa presencia humana (Da Silva, 2002; Keller y Andreu, 2002). Características todas ellas, que en parte, explicarían la ausencia de las especies en el entorno de la autovía. En la provincia de Zamora hay constancia de atropellos de galápago leproso (PMVC, 2003) que por un lado, evidencian la presencia de la especie en el área y por otro, ponen de manifiesto la relevancia de esta mortalidad como factor de amenaza de cara a la conservación de la especie (Guyot y Clobert, 1997; Gibbs y Shriver, 2002). Cabe añadir, al igual que para el desmán ibérico, la posibilidad de que estas especies, muy ligadas al agua, estuvieran haciendo uso de los viaductos para cruzar de un lado a otro de la infraestructura.

Por otra parte, y en relación con la metodología empleada en la presente tesis, resulta fundamental señalar dos factores que dotan de una mayor robustez a los resultados. El primero de ellos es el elevado número de estructuras controladas de cada tipo, que tal y como se presentó en el capítulo 4 (apartado 4.3.5.), contrarresta la pérdida de información derivada de un control de 10 días por estructura. El segundo, es la relevancia de la utilización del sistema fotográfico como método de control complementario al registro de huellas. Gracias a este sistema se han podido identificar especies cuyas huellas son en la práctica imposibles de distinguir, y que a su vez resultan de especial interés para la conservación, como son el gato montés o el lobo. E incluso, en el caso de la autovía A-52, ha permitido dejar constancia de la presencia de especies que no aparecían citadas en el área (Palomo y Gisbert, 2002), tales como, la ardilla (*Sciurus vulgaris*) y el armiño (*Mustela erminea*).

En definitiva, retomando los resultados del análisis general presentado en este capítulo, se ha podido comprobar como los patrones encontrados en los análisis parciales expuestos en los capítulos anteriores se ven reforzados, poniendo de relieve nuevamente, la complementariedad de los diferentes tipos de estructuras como principal rasgo.

Todos los tipos estructuras han sido utilizados, pudiéndose constatar una intensidad de uso similar en todos ellos, sin diferencias significativas derivadas de la localización del paso o del tipo. Sin embargo, sí se han observado diferencias en la intensidad de uso en función de la época del año, siendo ésta claramente inferior en invierno, coincidiendo con una menor actividad y una menor densidad poblacional en términos generales, de los vertebrados terrestres, especialmente marcada en anfibios y reptiles (Barbadillo *et al.*, 1999; Palomo y Gisbert, 2002).

Si bien la intensidad de uso fue similar en los distintos tipos de estructuras, la fauna que utilizó de cada uno ellos sí ha resultado significativamente diferente. Este patrón general de selección parece estar marcado por una relación directa entre el tamaño del animal y las dimensiones del paso utilizado (Forman y Hersperger, 1996; Veenbass y Brandjes 1999; Ng *et al.* 2004). Así, las especies de menor tamaño, tales como micromamíferos, anfibios, reptiles y pequeños mustélidos, han utilizado con mayor frecuencia pasos de dimensiones más reducidas y más abundantes como son los drenajes, circulares o adecuados, resultados que se muestran en consonancia con estudios previos (Saunders y Hobbs, 1991; Andreassen *et al.*, 1996; McDonald y St Clair, 2004). En cambio, las especies de tamaño medio y grande como lagomorfo, zorro, gato, perro, lobo y ungulados utilizaron preferentemente estructuras inferiores o superiores más amplias.

Así mismo, se han registrado diferencias en la identidad de los vertebrados detectados haciendo uso de los pasos en función de la localización de éstos. Se trata de una variación ligada a los diferentes hábitats intersectados por la infraestructura y que se pone de manifiesto de forma más evidente en los extremos del trazado. En los primeros kilómetros de la autovía se han detectado en mayor número de ocasiones lagomorfos y micromamíferos haciendo uso de las estructuras. Estos primeros kilómetros del trazado transcurren por parajes donde dominan los espacios abiertos, principalmente cultivos, y con escasa cobertura vegetal, constituyendo un hábitat favorable para estas especies, especialmente para liebres y diferentes especies de micromamíferos. Por contra, en los

kilómetros finales de la autovía, cuyo trazado discurre por áreas más boscosas, se detecta en más ocasiones la presencia de tejones haciendo uso de los pasos, siendo una especie más común en este tipo de hábitats (Revilla *et al.*, 2002).

Por otro lado, la actividad humana registrada en los pasos no parece ejercer una influencia significativa en la mayor o menor utilización de las estructuras por parte de las especies. No obstante, los tramos objeto de estudio de la autovía A-52 y de forma extensible también a la autovía A-231, transcurren por zonas con escasa densidad de población, por lo que al menos en estas dos situaciones, no supone un factor de presión que merme la efectividad de estas medidas, tal y como ha sido señalado en otros estudios (Schaal, 1987; Carsignol, 1999; Clevenger, 2000). La distancia a zonas urbanizadas sin embargo, sí parece determinar la presencia de algunas especies, aunque no de forma muy clara. Únicamente los micromamíferos parecen incrementar su frecuencia de uso de forma directamente proporcional con la distancia a éstas áreas.

La proximidad de las embocaduras de los pasos a la cobertura vegetal tampoco ha resultado determinante en este estudio, pesa a tratarse de un elemento cuyo papel ha sido destacado por numerosos autores por reducir la reticencia de algunas especies a entrar en dichas estructuras (Singer *et al.*, 1985; Rodríguez *et al.*, 1997; Rosell *et al.*, 1997; Carsignol, 1999; Barnum, 2003).

Al hilo de estas consideraciones generales, destacar que la ubicación de los pasos resulta determinante para garantizar la efectividad de éstos (Singer y Doherty, 1985; Beier y Loe, 1992; Rosell y Velasco, 1999; Forman *et al.*, 2003). Sin embargo, cuando se trata de pasos de carácter mixto, su localización responde a otras necesidades relacionadas con la actividad humana y carecen de una perspectiva ecológica (Van der Grift, 1999). Estas estructuras que sin duda, juegan un importante papel complementario incrementando la permeabilidad de las infraestructuras viarias, no deben llegar en ningún caso a equipararse y por lo tanto, reemplazar a los pasos específicamente diseñados para la fauna. Además, la efectividad de estos pasos de carácter mixto, a corto y largo plazo, está muy condicionada por la intensidad de uso humano, un factor difícilmente controlable que puede variar notoriamente a lo largo del tiempo.

A continuación tras la presentación de los patrones generales se detallan los patrones específicos, se aborda la selección o uso preferente de cada una de las especies registradas, teniendo en cuenta para ello, tanto los resultados obtenidos en el control de las estructuras de la autovía A-52 como los derivados de la autovía A-231. Se presentan en cuadros sintéticos y organizados por grupos faunísticos, las principales tendencias observadas para cada uno de estos grupos en la utilización de los pasos. En cada uno de estos cuadros se incluyen además, resultados procedentes de otros estudios, distinguiendo si éstos apoyan, contradicen o bien, simplemente aportan otras consideraciones a tener en cuenta.

Anfibios

Anuros y urodelos utilizan preferentemente los pasos inferiores sin importar el tamaño de éstos, parece una consecuencia lógica de la afinidad de estos animales por ambientes con una cierta humedad, asociados a los diferentes tipos de drenajes, pero también a todos los pasos inferiores localizados en vaguadas (ver fotografía 9.1).

Estudios concordantes

Discrepancias y otras consideraciones

Lodé (2000): uso mayoritario de los pasos inferiores, especialmente de las estructuras de drenaje.

Incremento de la efectividad de los pasos mediante vallas conductoras para anfibios (Brehm, 1989; ver no obstante Van Esterik *et al.*, 1989), o bien reforzando éste en los primeros 50 cm (Taylor y Goldingay, 2003).

Reptiles

Lacértidos y ofidios utilizan preferentemente pasos inferiores estrechos: drenajes tanto circulares como adecuados. Destacar el mayor uso de estas estructuras en verano, es muy posible que en muchos casos utilicen estas estructuras más como fuentes de termorregulación que como vías de paso, ya que los drenajes actúan como microhábitats, manteniendo una temperatura más o menos constante a lo largo del día.

Estudios concordantes

Discrepancias y otras consideraciones

Yanes *et al.* (1995) y Rodríguez *et al.* (1996) coinciden en destacar la mayor frecuentación estival de los pasos, apuntando también un uso ligado a la termorregulación de estas especies.

Rosell y Velasco (1999) señalan que la presencia de agua en el interior y/o en las entradas del paso no favorece la utilización por reptiles. No obstante, en ocasiones aparecen usando pasos bajo estas condiciones (ver fotografía 9.2).



Fotografías 9.1. y 9.2. Rana utilizando un paso inferior específico en la autopista A-231 (izquierda) y lagarto utilizando un drenaje con agua también en la autopista A-231 (derecha).

Micromamíferos

Ratones: el grupo en el que se incluyen musarañas, ratones y topillos, se ha registrado en todos los tipos de estructuras y con elevada frecuencia, mostrando no obstante una clara tendencia a utilizar los drenajes circulares (ver fotografía 9.3). Destacar también la intensidad de uso, aunque menor, detectada en los pasos superiores mixtos.

Ratas: se han registrado en todos los tipos, manteniendo, aunque con una frecuencia menor, la selección del grupo anterior.

Ratas de agua: sólo ha hecho uso de pasos inferiores y predominantemente de los más estrechos, como son los drenajes circulares y adecuados (ver fotografía 9.4).

En general todas estas especies presentan una intensidad mayor de uso al final de la primavera y verano, salvo para la rata de agua cuyo pico anual se sitúa en el invierno.

Estudios concordantes	Discrepancias y otras consideraciones
Yanes <i>et al.</i> (1995), Clevenger <i>et al.</i> (2001) y McDonald y St Clair (2004) coinciden en resaltar la importante función de los drenajes, al incrementar la permeabilidad de las vías para estas especies.	Algunos trabajos ponen de manifiesto una mayor utilización de los drenajes con cobertura vegetal en las proximidades de las embocaduras (Rodríguez <i>et al.</i> , 1996; McDonald y St Clair, 2004)
El estudio de Rodríguez <i>et al.</i> (1996), también en ambientes mediterráneos, señala la misma época del año como momento de máxima utilización, así como una selección positiva por estas estructuras.	Numerosos autores (Oxley <i>et al.</i> , 1974; Mader, 1984; Swihart y Slade, 1984, McDonald y St. Clair, 2004) muestran una reticencia por parte de los micromamíferos a utilizar hábitats aclarados, como los pasos superiores, al carecer de protección frente a los depredadores.
	Rosell <i>et al.</i> (1997) y Singleton y Lehmkuhl (2000) evidencian en sus estudios la presencia de agua en los drenajes como factor que reduce su efectividad.
	Boarman y Sazaki (1996) señala una habituación a los drenajes como estructuras de paso, incrementado su uso con el tiempo.



Fotografías 9.3. y 9.4. Ratón utilizando un drenaje circular (izquierda) y rata de agua atravesando un drenaje adecuado (derecha), ambos pasos de la autovía A-52.

Erizo común

El erizo utiliza de modo casi exclusivo los pasos inferiores y entre ellos, selecciona favorablemente los más amplios (ver fotografía 9.5). No obstante, cabe resaltar la baja frecuencia de uso observada en las dos autovías estudiadas (1 cruce cada 75 días-paso de control), habiéndose registrado el 80% de los cruces en 7 de las 225 estructuras controladas. Este hecho sugiere que un número muy pequeño de erizos utiliza los pasos transversales de la autovía, pero que hacen un uso más o menos rutinario de ellos.

Estudios concordantes

El erizo presenta una tasa de mortalidad por atropello muy elevada en toda Europa (Kempf y Baugranut 1980; Garnica y Robles 1986; Reeve y Huijser 1999), que viene a reflejar la escasa utilización de las estructuras.

Discrepancias y otras consideraciones

Doncaster (1999) plantea un fenómeno de exclusión asociado al comportamiento del erizo como presa ante el tejón, por el que evitaría los pasos usados por su depredador.

Ardilla roja

El 96% de los registros de esta especie se han obtenido en dos pasos de la autovía A-231(un paso superior específico y un paso inferior mixto), situados ambos en una zona forestal que ha quedado intersectada por la autovía. Posiblemente, la selección de estas estructuras esté condicionada más por la ubicación geográfica que por el diseño de las mismas.

Estudios concordantes

La ubicación como factor determinante de la efectividad de estas medidas ha sido destacado por numerosos autores (Land y Lotz, 1996; Madsen, 1996; Forman *et al.*, 2003).

Discrepancias y otras consideraciones

En áreas forestales divididas por una infraestructura lineal se recomienda la construcción de estructuras aéreas específicas para especies trepadoras como la ardilla (luell *et al.*, 2003).



Fotografías 9.5. y 9.6. Erizo registrado en un paso inferior mixto de la autovía A-52 (izquierda) y ardilla cruzando por un drenaje adecuado de la autovía A-231 (derecha).

Lagomorfos	
<p>Conejos y liebres han utilizado preferentemente estructuras de tipo amplio, si bien también han utilizado los drenajes.</p> <p><i>Conejo</i>: ha utilizado con mayor frecuencia los pasos amplios inferiores, tanto mixtos como específicos, mostrando un pico estacional, incrementando la frecuencia de paso en verano.</p> <p><i>Liebre</i>: dentro de las estructuras de tipo amplio ha cruzado indistintamente por superiores e inferiores, con una notable utilización de los pasos de tipo mixto.</p>	
Estudios concordantes	Discrepancias y otras consideraciones

Rosell *et al.* (1997) destaca la importancia de la amplitud para favorecer el paso de lagomorfos. Yanes *et al.* (1995) coinciden en resaltar el pico de frecuentación estival en el conejo. El trabajo de Keller (1999) también señala una frecuente utilización de las estructuras por liebres.

Rodríguez *et al.*, (1996) apuntan en su trabajo una escasa utilización de las estructuras por lagomorfos, si bien señalan que dichas especies pudieran estar en fase de recolonización del área y por tanto, contarían con una presencia reducida.

Mathiasen y Madsen (2000) señalan un comportamiento reticente de la liebre a la hora de utilizar un paso inferior específico.

Mustélidos	
<p><i>Comadreja y armiños</i>: muestran una tendencia clara a utilizar los drenajes como vía de paso. Ambas especies han utilizado indistintamente tanto de los drenajes circulares como de los adecuados (ver fotografía 9.7).</p> <p><i>Turón y visón americano</i>: seleccionan pasos inferiores de tipo amplio, principalmente de diseño específico para la fauna (ver fotografías 9.8. y 9.9).</p> <p><i>Guarduña y nutria</i>: aunque con una utilización muy esporádica, las dos especies han utilizado pasos inferiores amplios (mixtos y específicos) (ver fotografías 9.10. y 9.11).</p> <p><i>Tejón</i>: registrado únicamente en la autovía A-52, ha utilizado de forma casi exclusiva los pasos inferiores, independientemente de la amplitud de los mismos. Se ha detectado por igual haciendo uso tanto de los drenajes como de los pasos inferiores de tipo mixto y específico (ver fotografía 9.12).</p>	
Estudios concordantes	Discrepancias y otras consideraciones

Los drenajes ejercen una labor fundamental en la conexión de hábitats para carnívoros de tamaño mediano y pequeño (Clevenger *et al.*, 2001, Ascensão y Mira, 2007).

En estudios realizados en Francia se describe un uso regular de los pasos inferiores por la guarduña (S.A.S.F., 1984)

Broekhuizen *et al.*, (1986) y Bekker y Canters (1997) destacan la importancia de la cobertura vegetal de las embocaduras, que debe canalizar a las especies hacia la estructura.

En general, los individuos que utilizan los pasos son aquellos cuyo territorio coincide con las estructuras, por lo que suelen ser pocos y después de un periodo de adaptación a las nuevas estructuras (Robles y Pereira, 2001).



Fotografías 9.7 a 9.12. Armiño cruzando por un drenaje adecuado de la autovía A-231 (superior izquierda) y visón americano detectado en un paso inferior específico de la A-231 (superior derecha). Turón también por un paso inferior específico de la A-231 (medio izquierda) y garduña cruzando por un paso inferior mixto de la A-52 (medio derecha). Nutria por un paso inferior específico de la A-231 (inferior izquierda) y tejón en un paso inferior específico en la A-52 (inferior derecha).

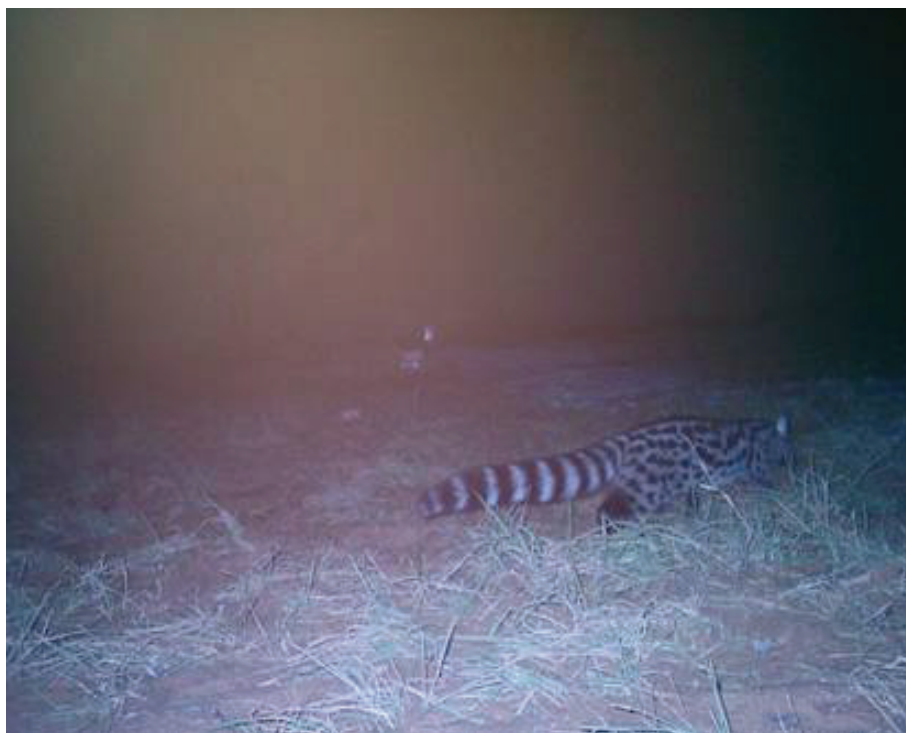
Félidos y Vivérridos

Gato doméstico: felino ubicuo y abundante en las dos áreas de estudio, ha utilizado todo los tipos de estructuras indistintamente, sin mostrar selección alguna.

Gato montés: el único contacto fotográfico obtenido se registró en un paso inferior específico de la autovía A-52. No se descarta que alguna de las huellas incluidas en el grupo gato perteneciera a gato montés porque se trata de una especie presente en las dos áreas de estudio, pero no hay que olvidar que de un total de 129 contactos fotográficos, sólo 1 pertenece a esta especie.

Gineta: este vivérrido ha utilizado pasos inferiores y preferentemente de tipo amplio, tanto mixtos y como específicos (ver fotografía 9.13).

Estudios concordantes	Discrepancias y otras consideraciones
Cain <i>et al.</i> (2003) señalan en su estudio una correlación positiva entre la utilización de los pasos por felinos en general y el índice de apertura de dichas estructuras.	Rosell <i>et al.</i> , (1997) y Rodríguez <i>et al.</i> (1997) destacan la importancia de la cobertura vegetal de las embocaduras para favorecer el paso de ginetas y gatos monteses.



Fotografía 9.13. Gineta haciendo uso de un paso inferior específico de la autovía A-52.

Cánidos

Zorro: este cánido ha utilizado todos los tipos de estructuras, pero ha mostrado una clara preferencia por los pasos amplios como vía de paso (ver fotografía 9.14).

Perro: Los perros se han registrado en todos los tipos de estructuras, sin mostrar ninguna selección estadísticamente significativa, aunque con una mayor utilización de los pasos mixtos. Esta mayor utilización de las estructuras de tipo mixto puede deberse a que estos pasos se encuentran generalmente más próximos a las zonas habitadas, donde son más abundantes los perros domésticos y asilvestrados.

Lobo: esta especie ha hecho uso únicamente de estructuras de tipo amplio, tanto mixtas como específicas, haciendo un uso predominante de los pasos superiores específicos.

Estudios concordantes

Algunos estudios han manifestado el uso regular que hace el zorro de las distintas estructuras de paso (Trehwella y Harris, 1990; Rodríguez, *et al.*, 1997). Y otros han señalado la importancia de la amplitud para esta especie (Keller, 1999; Rosell *et al.*, 1997).

Los trabajos de Paquet y Callaghan (1997) y Blanco *et al.* (2005) coinciden en remarcar la mayor utilización de los pasos superiores por los lobos.

Discrepancias y otras consideraciones

Se ha descrito una frecuentación de los carnívoros por diferentes tipos de paso, directamente correlacionada con la distancia a zonas urbanizadas e inversamente con la actividad humana (Rodríguez *et al.*, 1996; Clevenger y Waltho, 2000).



Fotografía 9.14. Zorro cruzando por un paso inferior específico de la autovía A-52.

Ungulados

Para las tres especies presentes en las áreas de estudio, ciervo, corzo y jabalí, resulta llamativo el bajo número de registros obtenidos, sobre todo para las dos últimas, pese a tratarse de especies abundantes en las dos zonas de estudio. No obstante, cabe destacar el uso prácticamente exclusivo que han hecho todas ellas, de los pasos específicamente diseñados para la fauna.

Jabalí: ha empleado únicamente los pasos amplios, utilizando principalmente los superiores (ver fotografía 9.15).

Corzo: selecciona pasos inferiores de tipo amplio, principalmente de diseño específico para la fauna (ver fotografía 9.16).

Ciervo: ha sido la especie más frecuente en términos relativos y en comparación con el resto de ungulados. Esta especie ha seleccionado positivamente los pasos superiores específicos.

Estudios concordantes	Discrepancias y otras consideraciones
<p>Ballon (1987) y Vassant <i>et al.</i> (1993) también destacan la mayor utilización de los pasos superiores en Francia.</p> <p>En líneas generales, numerosos autores han destacado con anterioridad la relevancia de la amplitud de los pasos para favorecer el paso de ungulados (Reed <i>et al.</i>, 1975; Dufek y Adamec, 1999; Veenbass y Brandjes, 1999; Glitzner y Völk, 1999; Van Wieren y Word, 2001). Ng <i>et al.</i> (2004) consideran la dimensión de los pasos como un factor preponderante respecto al paisaje circundante a la estructura en la efectividad de estas medidas.</p> <p>Otros trabajos apuntan también a una escasa efectividad de los pasos para ungulados, al no utilizar, o hacerlo de forma episódica, las estructuras transversales a la vía (Thirion y Mallet, 1984, S.A.S.F., 1983-1986, Ballon, 1985, Vassant <i>et al.</i>, 1993).</p>	<p>Olbrich (1984) y Rosell y Velasco (1999) constatan en su trabajo una utilización exclusiva de los pasos inferiores por el jabalí.</p> <p>Putman (1997) destaca en su revisión una mayor utilización por los ungulados de los pasos inferiores específicos frente a los superiores también específicos.</p> <p>Reed (1981), Ward (1982), Olbrich (1984) y Clevenger y Waltho (2005) señalan que estas especies requieren un periodo de adaptación a las nuevas estructuras, periodo en el cual las características estructurales resultan determinantes. Singer <i>et al.</i> (1985) también destacan la importancia de la cobertura vegetal próxima a las embocaduras para favorecer a dicha habituación.</p> <p>Por otro lado, Reed <i>et al.</i> (1975), Olbrich (1984), Escaron (1989) y Barnum (2003) coinciden en destacar la importancia del solado de la estructura para favorecer el paso de ungulados, recomendando solados naturales, recubiertos de tierra.</p> <p>Por último, varios trabajos señalan la necesidad de controlar la actividad humana para incrementar la efectividad de estas medidas (Schaal, 1987; Carsignol, 1999; Clevenger, 2000).</p>



Fotografías 9.15. y 9.16. Jabalí registrado en un paso superior específico de la autovía A-52 (izquierda) y corzo cruzando por un paso inferior específico de la autovía A-231 (derecha).

Por último, volviendo sobre los resultados presentados en el capítulo 8, en el cual se ponía a punto un modelo predictivo para la autovía A-231, cabe preguntarse cuál es la generalidad de estos resultados más allá de lo que ha quedado demostrado en el citado apartado. Y así mismo, conocer el grado de representatividad de dichos resultados respecto a otros posibles enclaves dentro de la Península Ibérica. Posiblemente, haciendo un ejercicio de abstracción en términos muy simplistas, y al mismo tiempo atrevido, cabría esperar que los patrones de selección o utilización preferente asociados a las especies pudieran ser extrapolados a otras áreas de la Península en las que las mismas especies estuvieran presentes. Ante esta perspectiva, los resultados obtenidos en la autovía A-52 serían considerablemente representativos, dado que el entorno por el que discurre la autovía A-52 es de una gran riqueza faunística, especialmente en lo que se refiere a los mamíferos de tamaño medio y grande, con el 64% de las especies ibéricas presentes en la zona.

9.5. CONCLUSIONES FINALES

En términos generales, las principales conclusiones que se pueden extraer de este estudio son, en primer lugar, el amplio elenco de especies que hace uso de las estructuras de paso, mostrando unos patrones de selección, o uso preferente, determinados en definitiva por las variables estructurales que quedan englobadas en el tipo de paso. Estos patrones parecen mantenerse con independencia de la época del año, si bien, se observan variaciones estacionales en la intensidad de uso. En segundo lugar, la complementariedad de los diferentes tipos de estructuras para reducir el efecto barrera de las infraestructuras viarias. Las estructuras funcionales propias de la vía, tales como drenajes, puentes y pasos inferiores, pueden llegar a incrementar notablemente la permeabilidad de ésta, al menos en aquellas situaciones en las que la perturbación humana sea baja. Así mismo, cabe resaltar la importante función ejercida por los pasos específicamente diseñados para la fauna, en concreto para aquellas especies más reticentes a la hora de utilizar las estructuras transversales a la vía.

Por otra parte, a la luz de los resultados obtenidos mediante el modelo predictivo aplicado a la autovía A-231, se puede concluir que es posible la generalización de los patrones de selección encontrados de los vertebrados terrestres en la utilización de los pasos y demás estructuras de una infraestructura viaria. La validación del modelo muestra un correcto ajuste a la realidad observada. No obstante, se ha comprobado que la robustez del modelo predictivo está directamente condicionada por el número de observaciones, por lo que interesa reunir conocimientos para incrementar el número de observaciones y obtener así, las mejores predicciones posibles. Por todo ello, el modelado de los patrones de uso de los pasos de fauna y demás estructuras transversales por los vertebrados terrestres se muestra como una importante herramienta para el diseño y planificación de estas medidas correctoras en función de la fauna presente.

De igual modo, del conjunto de resultados presentados en esta tesis doctoral, se derivan una serie de consideraciones de carácter metodológico de gran relevancia. Por un lado, en relación con el sistema de control, es necesario destacar la alta efectividad en términos coste-beneficio del registro de huellas mediante marmolina. No obstante, se trata de un método con una limitada capacidad para almacenar información, cuya efectividad está en parte determinada por las condiciones meteorológicas y que ofrece como dificultad añadida la imposibilidad de identificar algunas especies mediante sus huellas. Con el sistema fotográfico en cambio, estas limitaciones son claramente superadas, permitiendo la identificación específica (e incluso individual) en algunos casos, como principal ventaja. Por otro lado, en lo que respecta a la duración óptima del periodo de control, la aproximación matemática, mediante el modelo de acumulación de especies de *Clench*, se muestra como una herramienta adecuada para evaluar la duración de dichos periodos y de gran utilidad, a la hora de establecer protocolos de seguimiento para evaluar la efectividad de estas medidas correctoras. De acuerdo con los resultados obtenidos, se aconsejan periodos de al menos 15 días de control, maximizando así la posibilidad de detectar las especies que utilicen estas estructuras. Periodos de menor

duración, como los llevados a cabo para el desarrollo de esta tesis, deben ser reforzados con elevados tamaños muestrales que contrarresten la pérdida de información.

A continuación, se extraen algunas de las implicaciones de carácter aplicado que se derivan del presente trabajo:

- ✓ La construcción de pasos específicos para la fauna, con un cuidado diseño y una acertada ubicación, se muestra como una medida correctora indispensable para reducir el efecto barrera en numerosas especies, especialmente mamíferos de mayor tamaño y requerimientos más estrictos.
- ✓ Se debe prestar especial atención a la adecuación y/o sobredimensionamiento de las obras de drenaje por su interés para ciertas especies y coste relativamente bajo.
- ✓ Los programas de vigilancia ambiental de los proyectos de infraestructuras viarias deberían incorporar un seguimiento rutinario de al menos dos campañas por anualidad durante un periodo de 5 años, ajustando dichas campañas a los periodos de mayor actividad para las especies de interés. Así mismo, se sugieren controles de 15 días por estructura y como método de control extensivo utilizar el registro de huellas mediante marmolina o arena de grano fino. Si bien, se recomienda la utilización de sistemas fotográficos de forma complementaria, fundamentalmente en áreas en las que estén presente especies cuyas huellas están sujetas a confusión y sean de interés general para la conservación.
- ✓ La utilización de modelos predictivos puede ser una herramienta de gran utilidad para el diseño y planificación de las medidas correctoras en función de la fauna presente.

Para finalizar, se recogen algunas de las cuestiones de interés que aún restan por contestar y que podrían dar origen a líneas futuras de investigación entorno a este tema:

La primera de ellas, requiere un cambio en la perspectiva de enfoque, que profundice en la efectividad real de estas medidas correctoras. En esta tesis se ha comprobado y analizado la utilización o no de las diferentes estructuras presentes en dos autovías por parte de la fauna. Sin embargo, se desconoce si la permeabilidad registrada en estas vías bastaría para asegurar la no disminución de la viabilidad de las poblaciones presentes en el área a largo plazo, asegurando un intercambio genético indispensable para el mantenimiento de la biodiversidad (Meffe y Carroll, 1997; Bennett 1999, Haddad *et al.*, 2000). Resulta imprescindible plantear el problema desde una perspectiva más amplia, saber si estas posibles soluciones a una escala espacial local mantienen la conectividad global, o por el contrario son simples parches sin una funcionalidad ecológica (Thompson *et al.*, 2001). Tratar de responder esta cuestión requeriría el desarrollo de estudios específicos que incorporen análisis del uso del espacio por parte de las especies, así como análisis genéticos.

La segunda cuestión en la misma línea que la anterior, se ciñe a la efectividad de estas medidas particularizando en el grupo de los ungulados. A tenor de los resultados derivados de la presente tesis y de otros estudios, resulta especialmente llamativa la

reticencia mostrada por estas especies a utilizar los distintos pasos. No cabe duda de que estas especies, con extensas áreas de campeo, se ven seriamente afectadas por las infraestructuras viarias (Forman y Alexander 1998), mostrándose las estructuras transversales parcialmente útiles. Sólo a través de un mejor conocimiento de los factores que determinan la utilización o no de los pasos, se podrá minimizar el efecto barrera producido por las infraestructuras viarias sobre estas especies. Para ello, resulta fundamental no sólo impulsar nuevas investigaciones entorno a este tema, sino asegurar que el conocimiento adquirido en dichas investigaciones revierta en los proyectos de construcción, y se traduzca en una mejora en el diseño de estas medidas,

Otro tema interesante a abordar es el de la interacción depredador-presa en la utilización de los pasos de fauna y demás estructuras transversales de una infraestructura viaria. Por un lado, interesa conocer si se produce un solapamiento en la utilización de los pasos, o si por el contrario se produce una exclusión y las estructuras utilizadas por los depredadores no son utilizadas por sus presas (Doncaster, 1999). Por otro lado, para determinar si estos pasos son utilizados como lugar de caza por los depredadores, incrementando el riesgo de depredación y actuando como sumideros poblacionales para las presas.

El primer aspecto, pese a no haber sido presentado en esta tesis será abordado en un futuro próximo. Se pretende, en un plazo breve de tiempo, analizar los contactos fotográficos de determinadas especies, incluyendo depredadores y presas, con el fin de obtener un registro detallado de la utilización de cada una de las estructuras, y comprobar así, si se está produciendo un desplazamiento temporal o espacial en dicha utilización. Por el momento, sin entrar a ese nivel de detalle, los resultados obtenidos en ambas autovías, muestran como presas y depredadores utilizan las mismas estructuras. Un hecho ya señalado en otros estudios (Foster y Humphrey, 1995; Land y Lotz, 1996; Gloyne y Clevenger, 2001). El segundo aspecto a tratar, la utilización de los pasos como lugar de caza, ha sido apuntado por ciertos autores (Hunt *et al.*, 1987; Foster y Humphrey, 1995). Sin embargo, no existe por el momento, ningún estudio científico en el que se aborde esta cuestión, en el que se evalúe la interacción depredador-presa en un área antes y después de la construcción de los pasos (véase Little *et al.*, 2002).

Por último, mencionar una relevante cuestión relacionada con la ubicación de los pasos específicos para la fauna y su papel en los corredores ecológicos. De forma resumida, se plantea por una parte la posibilidad o no de detectar los corredores *a priori*, a fin de emplazar los pasos en los mejores lugares posibles. Por otra parte, se plantea la opción de que sean los propios pasos, una vez establecidos, los que modelen la ubicación futura de los corredores de fauna. Se trata de temas controvertidos, relacionados con la Conservación a escala de paisaje, que para ser debidamente abordados requieren del desarrollo de estudios específicos que ayuden a esclarecer la estructura real de los corredores ecológicos.

Capítulo 10.

Bibliografía

- Adams, L.W. y Geis, A.D. 1983. Effects of Roads in Small Mammals. *Journal of Applied Ecology* **20**: 403-415.
- Alexander, S.M. y Waters, N.M. 2000. The effects of highway transportation corridors on wildlife: a case study of Banff National Park. *Transportation Research Part C-Emerging Technologies* **8**: 307-320.
- Allen, R.E. y McCullough, D.R. 1976. Deer-car accidents in southern Michigan. *Journal of Wildlife Management* **40**: 317-325.
- Anderson, A.B. y Jenkins, C.N. 2006. *Applying Nature's Design: Corridors As a Strategy for Biodiversity Conservation*. Columbia University Press, Nueva York, EEUU.
- Andreassen, H.P.; Halle, S. y Ims, R.A. 1996. Optimal Width of Movement Corridors for Root Voles: Not Too Narrow and Not Too Wide. *Journal of Applied Ecology* **33**: 63-70.
- Andrén, H. 1994. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat - a Review. *Oikos* **71**: 355-366.
- Andrews, A. 1990. Fragmentation of habitat by roads and utility corridors: a review. *Australian Zoologist* **26**: 130-41.
- Ascensão, F. y Mira, A. 2007. Factors affecting culvert use by vertebrates along two stretches of road in southern Portugal. *Ecological Research* **22**: 57-67.
- Ballon, P. 1984. Premières observations sur l'efficacité des passages a gibier sur l'autoroute A36. *Cemagref. Informations Techniques* **53**: 1-6.
- Ballon, P. 1985. Bilan technique des aménagements réalisés en France pour réduire les impacts des grandes infrastructures linéaires sur les ongulés gibiers. En: *17^e Congres de l'union internationale des biologistes du gibier*. Francia. **pp**: 679-689 .
- Bang, P. y Dahlstrom, P. 1997. *Huellas y Señales de los Animales de Europa*. Ediciones Omega, S.A., Barcelona.

- Barbadillo, L.J., Lacomba, J.I., Pérez-Mellado, V., Sancho, V. y López-Jurado, L.F. 1999. *Anfibios y reptiles de la Península Ibérica, Baleares y Canarias*. Editorial GeoPlaneta, S.A., Barcelona.
- Barnum, S.A. 2003. *Identifying the best locations along highways to provide safe crossing opportunities for wildlife*. Colorado Department of Transportation Research. Colorado, E.E.U.U.
- Bascompté, J. y Solé, R.V. 1996. Habitat Fragmentation and Extinction Thresholds in Spatially Explicit Models. *Journal of Animal Ecology* **65**: 465-473.
- Beier, P. y Loe, S. 1992. A Checklist for Evaluating Impacts to Wildlife Movement Corridor. *Wildlife Society Bulletin* **20**: 434-440.
- Bekker, H.G.J. y Canters, K. 1997. The continuing story of badgers and their tunnels. En Canters, K. (Ed.). *Habitat Fragmentation and Infrastructure*. Maastricht - The Hague. pp: 344-353 .
- Bennett, A.F. 1990. Land Use, Forest Fragmentation and the Mammalian Fauna at Naringal, South-Western Victoria. *Australian Wildlife Research* **17**: 325-347.
- Bennett, A.F. 1991. Roads, roadside and wildlife conservation: a review. En: Saunders, D.A. y Hobbs, R.J. (eds.) *Nature Conservation 2 : the role of the corridors*. Surrey, Beatty, Chipping Norton , New South Wales, Australia. pp: 99-118.
- Bennett, A.F. 1999. *Linkages in the Landscape. The Role of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation*. IUCN The World Conservation Union and Environment , Cambridge, Reino Unido.
- Bissonette, J.A. y Storch, I. 2002. Fragmentation: Is the Message Clear? *Conservation Ecology* **6**: 1195-5449.
- Blanco, E., Casado, M.A., Costa, M., Escribano, R., García Antón, M., Génova, M., Gómez Manzaneque, A., Gómez Manzaneque, F., Moreno, J.C., Morla, C., Regato, P., y Sainz Ollero, H. 1997. *Los bosques ibéricos*. Editorial Planeta, S.A. Barcelona. 572 pp.
- Blanco, J.C. 1998. *Mamíferos de España I y II*. Editorial Planeta, S.A., Barcelona.
- Blanco, J.C., Cortés, Y. y Virgós, E. 2005. Wolf response to two kinds of barriers in an agricultural habitat in Spain. *Canadian Journal of Zoology* **83**: 312-323.
- Boarman, W.L. y Sazaki, M. 1996. Highway mortality in desert tortoises and small vertebrates: success of barrier fences and culverts. En *Trends in addressing transportation related wildlife mortality*. Evink, G.L.; Garrett, P.; Zeigler, D. y Berry, J. (Eds.), FL-ER-58-96. Florida Department of Transportation., Florida, Tallahassee. pp: 1-22.
- Breckling, B. 1992. Uniqueness of ecosystems versus generalizability and predictability in ecology. *Ecological Modelling* **63**: 13-27

- Brehm, K. 1989. The acceptance of 0.2 m Tunnels by amphibians during their Migration to the Breeding site. En *Amphibians and Roads. Proceedings of the Toad Tunnel Conference*, Rendsburg, Federal Republic of Germany. Langton, T.E.S.Ed., ACO Polymer Products, Ltd. Reino Unido. **pp**: 29-42.
- Brody, A.J. y Pelton, M.R. 1989. Effects of roads on black bear movements in western North Carolina. *Wildlife Society Bulletin* **17**: 5-10.
- Broekhuizen, S.; van't Hoff, C.A.; Maaskamp, F. y Pauwels, T. 1986. The importance of hedgerows for leading migrating badgers *Meles meles* (L., 1758). *Lutra* **29**: 54-65.
- Brudin III, C.O. 2003. Wildlife use of existing culverts and bridges in north central Pennsylvania. In Irwin, C.L.; Garret, P. y McDermott, K.P. (eds.). *Proceedings of the International Conference on Ecology and Transportation*. Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University. Raleigh, NC. **pp**: 342-352
- Bruinderink, G.W.T.A. y Hazebroek, E. 1996. Ungulate traffic collisions in Europe. *Conservation Biology* **10**: 1059-1067.
- Cain, A.T.; Tuovila, V.R.; Hewitt, D.G. y Tewes, M.E. 2003. Effects of a Highway and Mitigation Projects on Bobcats in Southern Texas. *Biological Conservation* **114**: 189-197.
- Camby, A., y Maizeret, C. 1987. Perméabilité des routes et autoroutes vis-a-vis des mammifères carnivores: exemple des études menées dans les landes de Gascogne. En: Bernard, J.M.; Lansiaart, M. y Tille, M. (Eds.) *Routes Et Faune Sauvage*. SETRA, Strasbourg. **pp**: 173-181
- Carsignol, J. 1999. El problema de la fauna en el proyecto, construcción y la explotación de autopistas. *Fauna y carreteras. El problema de la fauna en el proyecto, construcción y explotación de carreteras*. Jornada Técnica y Debate. Asociación Técnica de Carreteras, Madrid. **pp**: 23-58.
- Case, R.M. 1978 Interstate highway road-killed animals: a data source for biologists. *Wildlife Society Bulletin* **6** : 8-13.
- Clarke, G.P.; White, P.C.L. y Harris, S. 1998. Effects of roads on badger *Meles meles* populations in south-west England. *Biological Conservation* **86**: 117-124.
- Clergeau, Ph. 1993. Utilisation des concepts de l'ecologie du paysage por l'élaboration d'un nouveau type de passage a faune. *Revue Gibier Faune Sauvage* **10**: 47-57.
- Clevenger, A.P. & Waltho, N. 2003. Long-Term, Year-Road Monitoring of Wildlife Crossing Structures and the Importance of Temporal and Spatial Variability in Performance Studies. En:Leroy, C.; Garret, P. & McDermott, K.P. (eds.) "Making connections" *Proceedings of the International Conference on Ecology and Transportation. (ICOET 2003)*. Center for Transportation and the Environment, North Carolina State Univerity. Raleigh, NC, EEUU. **pp**: 293-302.

- Clevenger, A.P. y N. Waltho. 2000. Factors influencing the effectiveness of wildlife underpasses in Banff National Park, Alberta, Canada. *Conservation Biology* **14**: 47-56.
- Clevenger, A.P. y Waltho, N. 2005. Performance indices to identify attributes of highway crossing structures facilitating movement of large mammals. *Biological Conservation* **121**: 453-464
- Clevenger, A.P.; Chruszcz, B. y Gunson, K. 2001. Drainage culverts as habitat linkages and factors affecting passage by mammals. *Journal of Applied Ecology* **38**: 1340-1349.
- Clevenger, A.P.; Wierzchowski, J.; Chruszcz, B. y Gunson, K. 2002. GIS-generated, expert-based models for identifying wildlife habitat linkages and planning mitigation passages. *Conservation Biology* **16**: 503-514.
- Colyvan, M. y Ginzburg, L.R. 2003. Laws of natures and laws of ecology. *Oikos* **101**: 649-653.
- Commandeur, J.J.F. y Heiser, W.J. 1993: *Mathematical derivations in the proximity scaling PROXSCAL of symmetric data matrices*. Thec. Rep. No. RR-93-03. Leiden, The Netherlands: Department of Data Theory, Leiden University.
- Cooper, G. 1998. Generalizations in Ecology: A philosophical Taxonomy. *Biology and Philosophy* **13**: 555-586.
- Côte, I.M. y Reynolds, J.D. 2002. Predictive Ecology to the Rescue? *Science* **298** (5596):1181-1182.
- Crooks, K.R. 2002. Relative Sensitivities of Mammalian Carnivores to Habitat Fragmentation. *Conservation Biology* **16**: 488-502.
- Da Silva, E. 2002. *Mauremys leprosa* En: *Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España* (Pleguezuelos J. M., R. Márquez y M. Lizana, eds.). Dirección General de la Naturaleza, Madrid. **pp**: 143-146
- De Santo, R.S. y Smith, D.G. 1993. Environmental Auditing: an introduction to issues of habitat fragmentation relative to transportation corridors with special reference to High-speed Rail (HSR). *Environmental Management* **17**: 111-114.
- Désiré, G. y Mallet, C. 1991. T.G.V. Atlantique: ouvrages de franchissement pour les ongulés et gestion de leurs abords. *Bulletin Mensuel Office National de la Chasse* **159**: 40-45.
- Diffendorfer, J.E.; Gaines, M.S. y Holt, R.D. 1995. Habitat fragmentation and movements of three small mammals (*Sigmodon*, *Microtus* and *Peromyscus*). *Ecology* **76**: 827-839.
- Dixon, M.; Olsen, A.R. y Kahn, B.M. 1998. Measuring trends in ecological resources. *Ecological Applications* **8**: 225-227
- Doncaster, C.P. 1999. Can badgers affect the use of tunnels by hedgehog? A review of the literature. *Lutra* **42**: 59-64.

- Dufek, J. y Adamec, V. 1999. Measures aimed to reduction of negative impacts of transport on the wildlife and its implementation in the Czech Republic. En: *ICOWET III. The International Conference on Wildlife Ecology and Transportation*. Florida, EEUU. 3 pp.
- Escaron, J. 1989. La ligne nouvelle du TGV Atlantique et la préservation delà grand faune. *Bulletin Mensuel de l'Office Nationale de la Chasse* **137**: 23-33.
- Evink, G.L. 1996. Florida Department of Transportation initiatives related to wildlife mortality. En: Evink, G.L.; Garrett, P.; Zeigler, D. y Berry, J. (eds), *Trends in addressing transportation related wildlife mortality*. FL-ER-58-96. Florida Department of Transportation., Florida, EEUU. **pp**: 278-286.
- Fahrig, L. 1997. Relative Effects of Habitat Loss and Fragmentation on Population Extinction. *Journal of Wildlife Management* **61**: 603-610.
- Fahrig, L. 2002. Effect of Habitat Fragmentation on the Extinction Threshold: A synthesis. *Ecological Applications* **12**: 346-353.
- Fahrig, L. 2003. Effect of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* **34**: 487-515.
- Ferreras, P.; Aldama, J.; Beltrán, J.F. y Delibes, M. 1992. Rates and causes of mortality in a fragmented population of iberian lynx (*Felis pardina* Temminck, 1824). *Biological Conservation* **61**: 197-202.
- Flather, C.H. 1996. Fitting species-accumulation functions and assessing regional land use impacts on avian diversity. *Journal of Biogeography* **23**: 155-168.
- Forman, R. y Alexander, L.E. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics* **29**: 207-231.
- Forman, R. y Hersperger, A.M. 1996. Road ecology and road density in different landscapes, with international planning and mitigation solutions. *Trends in addressing transportation related wildlife mortality*. Evink, G.L.; Garrett, P.; Zeigler, D. y Berry, J. (Eds.), FL-ER-58-96. Florida Department of Transportation., Florida, Tallahassee. **pp**: 1-22.
- Forman, R.; Friedman, D.S.; Fitzhenry, D.; Martín, J.D.; Chen, A.S. y Alexander, L.E. 1997 . Ecological Effects of Roads: Toward Three Summary Indices and an Overview for North America. En: *Habitat Fragmentation and Infrastructure*. Maastricht and The Hague, The Netherlands. **pp**: 40-54 .
- Forman, R.; Sperling, D.; Bissonette, J.A.; Clevenger, A.P.; Cutshall, C.D.; Dale, V.H.; Fahrig, L.; France, R.; Goldman, C.R.; Heanue, K.; Jones, J.A.; Swanson, F.J.; Turrentine, T. y Winter T.C. 2003. *Road Ecology. Science and Solutions*. Island Press, Washington, DC. 479 pp.
- Foster, M.L. y Humphrey, S.R. 1995. Use of highway underpasses by Florida panthers and other wildlife. *Wildlife Society Bulletin* **23**: 95-100.

- Garland Jr., T. y Bradley, W.G. 1984. Effects of a highway on Mojave Desert rodent populations. *American Midland Naturalist* **111**: 47-56.
- Garnica, R. y Robles, L. 1986. Seguimiento de la mortalidad de erizos, *Erinaceus europaeus*, producida en una carretera de poca circulación. *Miscelánea Zoológica* **10**: 406-408.
- Gibbs, J.P. y Shriver, W.G. 2002. Estimating the effects of road mortality on turtle populations. *Conservation Biology* **16**: 1647-1652.
- Gilbert, F., González, A. y Evans-Freke, I. 1998. Corridors Maintain Species Richness in the Fragmented Landscapes of a microecosystem. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* **265**: 577-582.
- Glitzner, I. y Völk, F. H. 1999. Passageways through 1990 km fenced motorways in Austria: Assessment of number, distribution and quality for big game species (indicator species: red deer). *Infra Eco Network Europe (IENE), 5th IENE Meeting*. Budapest, Hungary.
- Gloyne, C.C. y Clevenger, A.P. 2001. Cougar *Puma concolor* use of wildlife crossing structures on the Trans-Canada highway in Banff National Park, Alberta. *Wildlife Biology* **7**: 117-124.
- Goosem, M. 2001. Effects of Tropical Rainforest Roads on Small Mammals: Inhibition of Crossing Movements. *Wildlife Research* **28**: 351-364.
- Gotelli, N.J. y Colwell, R.K. 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters* **4**: 379-391.
- Gray, J.S.; Ugland, K.I. y Lamshead, J. 2004. Species accumulation and species-area curves - comment on Scheiner (2003). *Global Ecology and Biogeography* **13**: 473-476.
- Guisan, A. y Zimmermann, N.E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* **135**: 147-186.
- Guyot, G. y Clobert, J. 1997. Conservation measures for a population of Hermann's tortoise *Testudo hermanni* in southern France bisected by a major highway. *Biological Conservation* **79**: 251-256.
- Haas, C.D. 2000. *Distribution, relative abundance and roadway underpass responses of carnivores throughout the Puente-Chino Hills*. MS Thesis. Pomona, California. California State Polytechnic University. 110pp.
- Haddad, N.M.; Rosenberg, D.K. y Noon, B.R. 2000. On Experimentation and the Study of Corridors: Response to Beier and Noss. *Conservation Biology* **14**: 1543-1545.
- Haddad, N.M.; Bowne, D.R.; Cunningham, A.; Danielson, B.J.; Levey, D.J.; Sargent, S. y Spira, T. 2003. Corridor Use by Diverse Taxa. *Ecology* **84**: 609-615.
- Haila, Y. 2002. A Conceptual Genealogy of Fragmentation Research: From Island biogeography to Landscape Ecology. *Ecological Applications* **12**: 321-334.

- Hair, J.F.; Anderson, R.E.; Tatham, R.L.; y Black, W.C. 1999. *Análisis Multivariante*. Prentice Hall Iberia (5ª ed.). 799 pp.
- Hanski, I. 1999. *Metapopulation Ecology*. Oxford University Press, Oxford, Reino Unido.
- Harris, L.D. y Scheck, J. 1991. From implications to applications: the dispersal corridor principle applied to the conservation of biological diversity. En: Saunders, D.A. y Hobbs, R.J. (Eds.). *Nature Conservation 2: the Role of the Corridors*. Surrey, Beatty, Chipping Norton, New South Wales, Australia. **pp**: 189-220.
- Henschel, P. y Ray, J. 2003. *Leopards in African rainforest: Survey and Monitoring Techniques*. Wildlife Conservation Society Global Carnivore Program. website: <http://www.savingwildplaces.com/swp-globalcarnivore>
- Hess, G.R. 1994. Conservation corridors and contagious disease: a cautionary note. *Conservation Biology* **8**: 256-262.
- Holzgang, O.; Pfister, H.P.; Heynen, D.; Blant, M.; Righetti, A.; Berthoud, G.; Marchesi, P.; Maddalena, T.; Muri, H. y Wendelspiess, M. 2001. *Les Corridors Faunistiques En Suisse*. Cahier de L'Environnement, N°326. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Société suisse de Biologie de la Faune (SSBF) & Station ornithologique suisse de la Sempach, Berne, Suiza.
- Huijser, M.P.; Van Der Grift, E.A. y Bekker, G.J. 1999. Habitat fragmentation and infrastructure: a review of the proceedings of an european and north american conference. *Lutra* **41**: 43-54.
- Hunt, A.; Dickens, H.J. y Whelan, R.J. 1987. Movements of mammal through tunnels under railway lines. *Australian Zoologist* **24**: 89-93.
- Hunter, M.L. 1996. *Fundamentals of Conservation Biology*. Blackwell Science, EEUU.
- Iuell, B.; Bekker, G.J.; Cuperus, R.; Dufek, J.; Fry, G.; Hicks, C.; Hlavác, V.B.; Rosell, C.; Sangwine, T. y Torslov, N. 2003. *Wildlife and Traffic: A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions*. KNNV Publishers.
- Jaarsma, C.F. y Willems, G.P.A. 2002. Reducing habitat fragmentation by minor rural roads through traffic calming. *Landscape and Urban Planning* **58**: 125-135.
- Jackson, S.D. y Tynning, T. 1989. Effectiveness of drift fences and tunnels for moving spotted salamanders (*Ambystoma maculatum*) under roads. En *Amphibians and Roads. Proceedings of the Toad Tunnel Conference*, Rendsburg, Federal Republic of Germany. Langton, T.E.S.Ed., ACO Polymer Products, Ltd. Reino Unido. **pp**: 93-100.
- Jaeger, J.A.G.; Bowman, J.; Brennan, J.; Fahrig, L.; Bert, D.; Bouchard, J.; Charbonneau, N.; Frank, K.; Gruber, B. y Tluk von Toschanowitz, K. 2005. Predicting when animal populations are at risk from roads: an interactive model of road avoidance behavior. *Ecological Modelling* **185**: 329-348.
- Jeffers, J.N. R. 1991. *Modelos en Ecología*. Oikos-Tau, S.A. Barcelona. 96 pp.
- Jorgensen, S.E. y Bendoricchio, G. 2001. *Fundamentals of Ecological Modelling*. 3ª Edición. Elsevier Science Ltd, Reino Unido.

- Karanth, K.U.; Samba, N. y Nichols, D. 2002. Field surveys: Estimating absolute densities of tiger using capture-recapture sampling. En: Karanth, K.U. y Nichols, D. (Ed.) *Monitoring Tigers and their prey. A manual for researchers, managers and conservacionists in Tropical Asia*. Centre for Wildlife Studies, India. **pp**: 139-152.
- Kéller, V. 1999. The use of wildlife overpasses by mammals: results from infra-red video surveys in Switzerland, Germany, France and the Netherlands. En *Infra Eco Network Europe (IENE), 5th IENE Meeting*. Hungría.
- Keller, C. y Andreu, A.C. 2002. *Emys orbicularis* En: *Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España* (Pleguezuelos J. M., R. Márquez y M. Lizana, eds.). Dirección General de la Naturaleza, Madrid. **pp**: 137-142
- Keller, V. y Pfister, H.R. 1997. Wildlife Passages as a Means of Mitigating Effects of Habitat Fragmentation by Roads and Railway Lines. En Canters, K. (Ed.). *Habitat Fragmentation and Infrastructure*. Ministry of Transport, Public Works and Water Manangement, Delft, The Netherlands. **pp**: 17-21.
- Kempf, C. y Baumgrant, G. 1980. *Mammifères d'Alsace*. Guides Gesta, Francia.
- Kruskal, J.B. 1964. Nonmetric Multidimensional Scaling: a numerical method. *Psychometrika* **2**: 115-129.
- Land, D. y Lotz, M. 1996. Wildlife crossing designs and use by Florida panthers and other wildlife in southwest Florida. *Trends in addressing transportation related wildlife mortality*. Evink, G.L.; Garrett, P.; Zeigler, D. y Berry, J. (Eds.), FL-ER-58-96. Florida Department of Transportation., Florida, Tallahassee. **pp**: 323-328.
- Levins, R. 1969. Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. *Bulletin of the Entomological Society of America* **15**: 237-240.
- Lidicker, W.Z. 1999. Responses of Mammals to Habitat Edges: an Overview. *Landscape Ecology* **14**: 333-343.
- Lindenmayer, D.B.; Cunningham, R.B. y Pope, M.L. 1999. A large-scale "experiment" to examine the effects of landscape context and habitat fragmentation on mammals. *Biological Conservation* **88**: 387-403.
- Little, S.J.; Harcourt, R.G. y Clevenger, A.P. 2002. Do Wildlife Passages Act as Prey-Traps? *Biological Conservation* **107**: 135-145.
- Lodé, T. 2000. Effect of a motorway on mortality and isolation of wildlife populations. *AMBIO* **29**: 163-166.
- MacArthur, R.H. y Wilson, E.O. 1967. *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press, EEUU.
- Mader, H.J. 1984. Animal habitat isolation by roads and agricultural fields. *Biological Conservation* **29**: 81-96.
- Madsen, A.B. 1996. Otter *Lutra lutra* mortality in relation to traffic, and experience with newly established fauna passages at existing road bridges. *Lutra* **39**: 76-90.

- Malo, J.E., Hervás, I., Mata, C. Herranz, J. y Suárez, F. 2006. How many days to monitor a wildlife passage? Species detection patterns and the estimation of vertebrate fauna using crossing structures in a motorway. En: Leroy, C.; Garret, P. y McDermott, K.P. (eds.) *"On the road to stewardship" Proceedings of the International Conference on Ecology & Transportation (ICOET-05)*. Center for Transportation and the Environment, NC State University. Raleigh, NC, EEUU. **pp:** 406-413.
- Malo, J.E., Suárez, F. y Díez, A. 2004. Can we mitigate animal-vehicle accidents using predictive models? *Journal of Applied Ecology* **41**: 701-710.
- Mansergh, I.M. y Scotts, D.J. 1989. Habitat continuity and social organization of mountain pygmy-possum restored by tunnel. *Journal of Wildlife Management* **53**: 701-707
- Mata, C.; Hervás, I.; Herranz, J.; Suárez, F. y Malo, J.E. 2005. Complementary use by vertebrates of crossing structures along a fenced Spanish motorway. *Biological Conservation* **124**: 397-405.
- Mata, C.; Hervás, I.; Herranz, J.; Suárez, F. y Malo, J.E. (en prensa). Are motorway wildlife passages worth building? Vertebrate use of road-crossing structures on a Spanish motorway. *Journal of Environmental Management*.
- Mata, C.; Hervás, I.; Suárez, F.; Herranz, J.; Malo, J.E.; Cachón, J. y Varela, J.M. 2006. Análisis de la efectividad de los pasos de fauna en un tramo de la autovía de las Rías Bajas (A-52). *Ingeniería Civil* **142**: 89-97.
- Mathiasen, R. y Madsen, A.B. 2000. Infrared video-monitoring of mammals at a fauna underpass. *Journal of Mammalian Biology* **65**: 59-61.
- Mayer, D.G. y Butler, D.G. 1993. Statistical validation. *Ecological Modelling* **68**: 21-32.
- Mcdonald, W. y St Clair, C.C. 2004. Elements that promote highway crossing structure use by small mammals in Banff National Park. *Journal of Applied Ecology* **41**: 82-93.
- Mcgarigal, K. y Cushman, S.A. 2002. Comparative evaluation of experimental approaches to the study of Habitat Fragmentation Effects. *Ecological Applications* **12**: 335-345
- McGuire, T.M. y Morrall, J.F. 2000. Strategic highway improvements to minimize environmental impacts within the Canadian Rocky Mountains national parks. *Canadian Journal of Civil Engineering* **27**: 523-532.
- Meffe, G.K. y Carroll, C.R. (Eds.) 1997. *Principles of Conservation Biology*. Sinauer Associates, Inc. EEUU.
- Murcia, C. 1995. Edge effects in fragmented forest: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution* **10**: 58-62
- Navarro, F. y Valle, 1987. Castilla y León. En Peinado Lorca, M. y Rivas-Martínez, S. (Ed.); *La Vegetación de España*. Colección Aula Abierta, Universidad de Alcalá de Henares, Madrid.
- Ng, S.J.; Dole, J.W.; Sauvajot, R.M.; Riley, S.P.D. y Valone, T.J. 2004. Use of Highway Undercrossings by Wildlife in Southern California. *Biological Conservation* **115**: 499-507.

- Nores, C., Queizor, A.I., y Gisbert, J. 2002. *Galemy pyrenaicus* E. Geoffroy Saint-Hilaire, 1811. Pp:70-73. En Palomo, L.J. y Gisbert, J. (eds.) *Atlas de los Mamíferos terrestres de España*. Dirección General de la Naturaleza-SECEM_SECEMU, Madrid, 564 pp.
- Noss, R.F. 1987. Corridors in real landscapes: a reply to Simberloff and Cox. *Conservation Biology* **1**: 159-164.
- Odum, E.P. 1989. *Ecology and our endangered life-support systems*. Sinauer, EEUU.
- O'Hara, R.B. 2005. The anarchist's guide to ecological theory. Or, we don't need no stinkin' laws. *Oikos* **110**: 390-393.
- Olbrich, P. 1984. Study of the Effectiveness of Game Warning Reflectors and the suitability of Game Passages. *Zeitschrift Fur Jagdwissenschaft* **30**: 101-116.
- Oreskes, N., Shrader-Frechette, K. y Belitz, K. 1994. Verification, Validation and Confirmation of Numerical Models in the Earth Sciences. *Science* **263**: 641-646.
- Oxley D.J.; Fenton, M.B. y Carmody, G.R. 1974. The effects of roads on populations of small mammals. *Journal of Applied Ecology* **11**: 51-59.
- Palomo, L.J. y Gisbert, J. 2002. Atlas de los mamíferos terrestres de España. Dirección General para la Conservación de la Naturaleza-SECEM-SECEMU. Madrid, Spain. 564 pp.
- Peters, R.H. 1991. *A Critique for Ecology*. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido.
- Pleguezuelos, J.M.; Márquez, R. y Lizana, M. (eds.) 2002. Atlas y libro rojo de los anfibios y reptiles de España. Dirección General para la Conservación de la Naturaleza-Asociación Herpetológica Española. Madrid.
- PMV .2003. *Mortalidad de vertebrados en carreteras*. Proyecto provisional de seguimiento de la mortalidad de vertebrados en carreteras (PMVC). Doc. Téc. Conserv. SCV, nº4, 350 pp. Madrid.
- Primack, R.B. 1998. *Essentials of Conservation Biology*. Sinauer, EEUU.
- Pulliman, H.R. 1988. Sources, links and population regulation. *American Naturalist* **132**: 652-661
- Pullin, A.S. 2002. *Conservation Biology*. University Press, Reino Unido.
- Putman, R.J. 1997. Deer and road traffic accidents: options for management. *Journal of Environmental Management* **51**: 43-57.
- Quinn, G.P. y Keough, M.J. 2002. *Experimental design and data analysis for biologists*. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido. 537 pp.
- Real, J.E. 2001. Escalamiento multidimensional. La Muralla, España.
- Reed, D.F.; Woodward, T.N. y Pojar, T.M. 1975. Behavioral response of mule deer to a highway underpass. *Journal of Wildlife Management* **39**: 361-367.

- Reed, D.F. 1981. Mule deer behavior at a highway underpass exit. *Journal of Wildlife Management* **45**: 542-543.
- Reeve, N. y Huijser, M.P. 1999. Mortality factors affecting wild hedgehogs: a study of records from wildlife rescue centres. *Lutra* **42**: 7-24.
- Reh, W. 1989. Investigations into the influence of roads on genetic structure of populations of the common frog *Rana temporaria*. En: Langton, T.E.S. (Ed.); *Amphibians and Roads*. Proceedings of the Toad Tunnel Conference. ACO Polymer Products Ltd, Shefford, Bedfordshire, Reino Unido. **pp**: 101-103.
- Revilla, E.; Casanovas, J.G. y Virgós, E. 2002. *Meles meles* E. Linnaeus, 1758. En Palomo, L.J. y Gisbert, J. (eds.) *Atlas de los Mamíferos terrestres de España*. Dirección General de la Naturaleza-SECEM_SECEMU, Madrid. **pp**: 274-277.
- Rice, W.R. 1989. Analyzing tables of statistical tests. *Evolution* **43**: 223-225.
- Rivas Martínez, S. 1987. *Memorias del mapa de series de vegetación de España*. ICONA, Madrid.
- Robinson, G.R.; Holt, R.D.; Gaines, M.S.; Hamburg, S.P.; Johnson, M.L.; Fitch, H.S. y Martinko, E.A. 1992. Diverse and Contrasting Effects of Habitat Fragmentation. *Science* **257**: 524-526.
- Robles, F. y Pereira, P. 2001. *Resultados del seguimiento del uso de los pasos para fauna por parte de mamíferos carnívoros en el Parque Nacional de Doñana*. Ministerio de Medio Ambiente. Informe Inédito.
- Rodríguez, A.; Crema, G. y Delibes, M. 1996. Use of Non-wildlife Passages across a High Speed Railway by Terrestrial Vertebrates. *Journal of Applied Ecology* **33**: 1527-1540.
- Rodríguez, A.; Crema, G. y Delibes, M. 1997. Factors affecting crossing of red foxes and wildcats through non-wildlife passages across a high-speed railway. *Ecography* **20**: 287-294.
- Roof, J. y Wooding, J. 1996. Evaluation of the S.R. 46 wildlife crossing in Lake County, Florida En: Evink, G.L.; Garrett, P.; Zeigler, D. y Berry, J. (eds), *Trends in addressing transportation related wildlife mortality*. FL-ER-58-96. Florida Department of Transportation., Florida, EEUU. **pp**: 329-338.
- Rosell, C. y Velasco, J.M. 1999. *Manual de prevenció i correcció dels impactes de les infraestructures viàries sobre la fauna*. Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient, Catalunya.
- Rosell, C.; Álvarez, G.; Cahill, C.; Campeny, C.; Rodríguez, A. y Séiler, A. 2003. *COST 341. La fragmentación del hábitat en relación con las infraestructuras de transporte en España*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Rosell, C.; Parpal, J.; Campeny, R.; Jové, S.; Pasquina, A. y Velasco, J.M. 1997. Mitigation of Barrier Effect of Linear Infrastructures to Wildlife. En Canters, K. (Ed.). *Habitat Fragmentation and Infrastructure*. Maastricht - The Hague. **pp**: 367-372.

- Rykiel, E.J. 1996. Testing ecological models: the meaning of validation. *Ecological Modelling* **90**: 229-244.
- Santos, R. 1999. Un reto de la ingeniería civil. *Revista del Ministerio de Fomento* **479**: 4-10
- Santos, T. y Tellería, J.L. 1992. Edge effects on nest predation in Mediterranean fragmented forests. *Biological Conservation* **60**: 1-5.
- Santos, T. y Tellería, J.L. 1998. *Efectos de la fragmentación de los bosques sobre los vertebrados en las mesetas ibéricas*. O.A. Parques Nacionales, España.
- Sanz, B. 1996. Estudio comparativo de las huellas de garduña, gineta y gato. *Quercus* **130**: 16-18.
- SASF (Société des Autoroutes du Sud de la France). 1986. *Suivi de Fonctionnement des Passages pour la Faune Sauvage 4*. CETE du Sud-Ouest. Francia.
- Saunders, D.A. y Hobbs, R.J. (Eds.). 1991. *Nature Conservation 2: the Role of the Corridors*. Surrey, Beatty, Chipping Norton, New South Wales, Australia.
- Saunders, D.A.; Hobbs, R.J. y Margules, C.R. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation. A review. *Conservation Biology* **5**: 18-32.
- Schaal, A. 1987. Effet d'une autoroute sur les déplacements de cerf (*Cervus elaphus*) en Haute-Marne, Nord-Est de la France. En: Bernard, J. M., Dansirat, M., Kempf, C. y Tille, M. (Eds); *Routes Et Faune Sauvage: Actes Du Colloque*. Strasbourg. pp: 173-181.
- Shaffer, M.L. 1981. Minimum population size for species conservation. *BioScience* **31**: 131-134
- Siegel, S. 1990. *Estadística no paramétrica. Aplicada a las ciencias de la conducta*. 3ª Edición. Ed. Trillas. México.
- Simberloff, D. y Cox, J. 1987. Consequences and costs of conservation corridors. *Conservation Biology* **1**: 63-71.
- Simberloff, D.; Farr, J.A.; Cox, J. y Mehlman, D.W. 1992. Movement Corridors: Conservation Bargains or Poor Investments? *Conservation Biology* **6**: 493-504.
- Singer, F.J. y Doherty, J.L. 1985. Managing mountain goats at a highway crossing. *Wildlife Society Bulletin* **13**: 469-477.
- Singer, F.J.; Langlitz, W.L. y Samuelson, E.C. 1985. Design and Construction of Highway underpasses used by mountain goats. *Transportation Research Record* **1016**: 6-10.
- Singleton, P.H. y Lehmkuhl, J.F. 2000. *I-90 Snoqualmie Pass Wildlife Habitat Linkage Assessment*. Washington State Department of Transportation. Washington, EEUU.
- Société des Autoroutes du Sud de la France. 1983. *Suivi de Fonctionnement des Passages pour la Faune Sauvage 2-3*. C.E.T.E du Sud-Ouest. Francia.

- SPSS, 2003. *SPSS for Windows* (versión 11.0). SPSS, Chicago, EEUU.
- StatSoft. 2002. *STATISTICA*, versión 6.0. Tulsa, OK, EEUU. StatSoft, Inc.
- Strachan, R. 1995. *Mammal Detective*. Whittet Books Limited, Reino Unido.
- Swihart, R.K. y Slade, N.A. 1984. Road crossing in *Sigmodon hispidus* and *Microtus ochrogaster*. *Journal of Mammalogy* **65**: 357-360.
- Taylor, B.D. y Goldingay, R.L. 2003. Cutting the carnage: wildlife usage of road culverts in north-eastern New South Wales. *Wildlife Research* **30**: 529-537.
- Tellería, J.L. 1999. Biología de la Conservación: Balances y Perspectivas. *Ardeola* **46**: 239-348
- Thirion, J. y Mallet, C. 1984. Passages réservés aux grands animaux pour le franchissement des autoroutes françaises. *Bulletin Mensuel de l'Office National de la Chasse* **76**: 15-19.
- Thompson, G.G.; Withers, P.C.; Pianka, E.R. y Thompson, S.A. 2003. Assessing biodiversity with species accumulation curves; inventories of small reptiles by pit-trapping in Western Australia. *Austral Ecology* **28**: 361-383.
- Thompson, J.N.; Reichman, O.J.; Morin, P.J.; Polis, G.A. ; Power, M.E.; Sterner, R.W.; Couch, C.A.; Gough, L.; Holt, R.; Hooper, D.U.; Keesing, F.; Lovell, C.R.; Milne, B.T.; Molles, M.C.; Roberts, D.W. y Strauss, S.Y. 2001. Frontiers of ecology. *Bioscience* **51**: 15-24.
- Thompson, W. L.; White, G.C. y Gowan, C. 1998. *Monitoring vertebrate populations*. Academic Press, San Diego, California, EEUU.
- Trewhella, W.J. y Harris, S. 1990. The effect of railway lines on urban fox (*Vulpes vulpes*) numbers and dispersal movements. *Journal of Zoology (London)* **221**: 321-326.
- Turchin , P. 2001. Does population ecology have general laws? *Oikos* **94**: 17-26.
- Underwood, A.J. 1997, *Experiments in Ecology. Their logical design and interpretation using analysis of variance*. Cambridge University Press, Reino Unido. 504 pp.
- Van Apeldoorn, R.C. 1997. Fragmented mammals: What does mean? En Canters, K. (Ed.); *Habitat Fragmentation and Infrastructure*. Maastricht - The Hague. **pp**: 121-126.
- Van Bohemen, H.D. 1998. Habitat fragmentation, infrastructure and ecological engineering. *Ecological Engineering* **11**: 199-207.
- Van der Grift, E.A. 1999. Mammals and railroads: impacts and management implications. *Lutra* **42**: 77-98.
- Van Esterik, N.; Martens, G.J.; Zonderly, A. y Zuiderwijk, A. 1989. Tunnels for migrating *Bufo bufo* in Overveen. *Lacerta* **47**: 74-80.
- Van Wieren, S.E. y Worm, P.B. 2001. The use of a motorway wildlife overpass by large mammals. *Netherlands Journal of Zoology* **51**: 97-105.

- Vassant, J., Brandt, S. y Jullien, J.M. 1993. Effects of the wildlife passage over motorway A5 on the populations of red deer and wild boar in the Massif d'Arc-en-Barrois. Part 2: case of the population of wild boar. *Bulletin Mensuel de l'Office National de la Chasse* **184**: 24-33.
- Veenbaas, G. y Brandjes, G.J. 1999: Use of fauna passages along waterways under highways. En: Evink, G.L.; Garrett, P. y D. Zeigler (Eds.); *Proceedings of the Third International Conference on Wildlife Ecology and Transportation*. FL-ER-73-99. Florida Department of Transportation, Tallahassee, Florida. **pp**: 253-258.
- Velasco, J.M.; Yanes, M. y Suárez, F. 1995. *El Efecto Barrera en Vertebrados. Medidas Correctoras en las vías de comunicación*. CEDEX, Madrid.
- Vepsäläinen, K. y Spence, J.R. 2000. Generalization in Ecology and Evolutionary Biology: From Hypothesis to Paradigm. *Biology and Philosophy* **15**: 211-238.
- Wainwright, J. y Mulligan, M. 2004. *Environmental modelling. Finding simplicity in complexity*. John Wiley y Sons. Chichester, Reino Unido.
- Walker, A. y Crout, N.M. 1997. *Modelmaker User Manual, Version 3*. Cherwell Scientific Publishing, Oxford, Reino Unido.
- Ward, A.L. 1982. Mule deer behavior in relation to fencing and underpasses on Interstate 80 in Wyoming. *Transportation Research Record* **859**: 8-13.
- Wilcox, B.A. y Murphy, D.D. 1985. Conservation strategy: the effects of fragmentation on extinction. *American Naturalist* **125**: 879-887.
- Yanes, M.; Velasco, J.M. y Suárez, F. 1995. Permeability of roads and railways to vertebrate: the importance of culverts. *Biological Conservation* **71**: 217-222.

Anexos

Tabla I. Listado de los vertebrados terrestres presentes en el entorno de la autovía A-231, sin incluir aves y murciélagos, según los Atlas de anfibios, reptiles y mamíferos de España (Pleguezuelos et al, 2002; Palomo y Gisbert, 2002).

	Orden	Nombre común	Nombre científico
Anfibios	<i>Caudata</i>	Salamandra	<i>Salamandra salamandra</i>
		Gallipato	<i>Pleurodeles waltl</i>
		Tritón jaspeado	<i>Triturus marmoratus</i>
		Tritón palmeado	<i>Triturus helveticus</i>
	<i>Anura</i>	Sapo partero común	<i>Alytes obstetricans</i>
		Sapo pintojo ibérico	<i>Discoglossus galganoi</i>
		Sapo pintojo meridional	<i>Discoglossus jeanneae</i>
		Sapo común	<i>Bufo bufo</i>
		Sapo corredor	<i>Bufo calamita</i>
		Sapo moteado común	<i>Pelodytes punctatus</i>
		Sapo de espuelas	<i>Pelobates cultripes</i>
		Ranita de San Antón	<i>Hyla arborea</i>
		Rana común	<i>Rana perezi</i>
Reptiles	<i>Squamata</i>	Lución	<i>Anguis fragilis</i>
		Eslizón tridáctilo ibérico	<i>Chalcides striatus</i>
		Eslizón ibérico	<i>Chalcides bedriagai</i>
		Lagarto ocelado	<i>Lacerta lepida</i>
		Lagarto verde	<i>Lacerta bilineata</i>
		Lagartija serrana	<i>Lacerta monticola</i>
		Lagartija ibérica	<i>Podarcis hispanica</i>
		Lagartija colilarga	<i>Psammmodromus algirus</i>
		Lagartija cenicienta	<i>Psammmodromus hispanicus</i>
		Culebra de escalera	<i>Elaphe scalaris</i>
		Culebra lisa europea	<i>Coronella austriaca</i>
		Culebra lisa meridional	<i>Coronella girondica</i>
		Culebra bastarda	<i>Malpolon monspessulanus</i>
		Culebra viperina	<i>Natrix maura</i>
		Culebra de collar	<i>Natrix natrix</i>
		Víbora hocicuda	<i>Vipera latasti</i>
		Víbora áspid	<i>Vipera aspis</i>
Mamíferos	<i>Insectívora</i>	Musaraña gris	<i>Crocidura russula</i>
		Musaraña enana	<i>Sorex minutus</i>
		Musaraña tricolor	<i>Sorex coronatus</i>
		Musgaño enano	<i>Suncus etruscus</i>
		Musgaño de cabrera	<i>Neomys anomalus</i>
		Desmán ibérico	<i>Galemys pyrenaicus</i>
		Topo ibérico	<i>Talpa occidentalis</i>
		Topo europeo	<i>Talpa europaea</i>
		Erizo común	<i>Erinaceus europaeus</i>

Tabla I (continuación).

	Orden	Nombre común	Nombre científico
Mamíferos	<i>Rodentia</i>	Rata topera	<i>Arvicola terrestris</i>
		Rata de agua	<i>Arvicola sapidus</i>
		Topillo lusitano	<i>Microtus lusitanicus</i>
		Topillo campesino	<i>Microtus arvalis</i>
		Topillo mediterráneo	<i>Microtus duodecimcostatus</i>
		Topillo agreste	<i>Microtus agrestis</i>
		Ratón de campo	<i>Apodemus sylvaticus</i>
		Ratón casero	<i>Mus domesticus</i>
		Ratón moruno	<i>Mus spretus</i>
		Rata negra	<i>Rattus rattus</i>
		Rata parda	<i>Rattus norvegicus</i>
		Lirón careto	<i>Eliomys quercinus</i>
		Ardilla roja	<i>Sciurus vulgaris</i>
	<i>Lagomorpha</i>	Liebre ibérica	<i>Lepus granatensis</i>
		Conejo	<i>Oryctolagus cuniculus</i>
	<i>Carnivora</i>	Lobo	<i>Canis lupus</i>
		Zorro rojo	<i>Vulpes vulpes</i>
		Armiño	<i>Mustela erminea</i>
		Comadreja	<i>Mustela nivalis</i>
		Turón	<i>Mustela putorius</i>
		Visón americano	<i>Mustela vison</i>
		Garduña	<i>Martes foina</i>
		Tejón	<i>Meles meles</i>
		Nutria paleártica	<i>Lutra lutra</i>
		Gineta	<i>Genetta genetta</i>
		Gato montés	<i>Felis silvestris</i>
	<i>Artiodactyla</i>	Jabalí	<i>Sus scrofa</i>
		Ciervo	<i>Cervus elaphus</i>
		Corzo	<i>Capreolus capreolus</i>

Tabla IIa. Principales características de las estructuras controladas en la autovía A-52.

AUTOVÍA A-52		LOCALIZACIÓN				DIMENSIONES				ENTORNO		
N	TIPO DE PASO	pk	Huso	UTM _E	UTM _N	long (m)	Alt. (m)	Anch (m)	I.A.	d _{setos} (m)	d _{forestal} (m)	d _{urb} (m)
1	Paso Inferior Específico	2,750	30 T	276038	4658745	36,0	6,0	9,0	1,50	155	307,5	2500
2	P. Superior Mixto	3,000	30 T	275807	4658684	60,9	-	7,7	0,13	15	155	2200
3	P. Inferior Específico	4,000	30 T	274796	4658545	37,0	7,2	17,0	3,31	55	130	1300
4	P. Inferior Mixto	4,200	30 T	274633	4658546	61,5	5,0	7,0	0,57	275	275	1000
5	Drenaje circular	4,800	30 T	274160	4658473	80,0	1,8	1,8	0,03	37,5	47,5	800
6	Drenaje circular	6,500	30 T	272322	4658420	72,5	1,8	1,8	0,04	1850	1850	600
7	Drenaje circular	7,300	30 T	271584	4658215	82,5	1,8	1,8	0,03	275	350	1200
8	P. Inferior Mixto	7,450	30 T	271490	4658161	37,5	4,8	7,0	0,90	107,5	375	1300
9	Drenaje circular	7,550	30 T	271353	4658092	42,5	1,8	1,8	0,06	615	800	1500
10	Drenaje adecuado	7,900	30 T	271035	4657939	145	3,0	3,0	0,06	750	1100	2000
11	Drenaje circular	8,250	30 T	270697	4657841	50,0	1,8	1,8	0,05	12,5	575	2300
12	Drenaje circular	8,750	30 T	270192	4657800	37,5	1,8	1,8	0,07	120	800	2700
13	Drenaje circular	8,900	30 T	270053	4657798	55,0	1,8	1,8	0,05	120	800	3000
14	P. Inferior Mixto	9,200	30 T	269783	4657692	38,4	5,0	7,0	0,91	135	250	3300
15	Drenaje circular	9,650	30 T	269347	4657530	45,0	1,8	1,8	0,06	80	220	3600
16	Drenaje circular	10,000	30 T	269080	4657361	50,0	1,8	1,8	0,05	110	125	3000
17	P. Inferior Mixto	10,050	30 T	269009	4657328	36,0	5,0	7,0	0,97	110	125	2950
18	Drenaje circular	19,550	30 T	260010	4655674	40,0	1,8	1,8	0,06	32,5	47,5	600
19	P. Inferior Mixto	20,200	30 T	259328	4655621	41,2	5,0	7,0	0,85	6	8,5	800
20	P. Superior Mixto	21,000	30 T	258568	4655688	60,9	-	7,1	0,12	2,5	5	1000
21	Drenaje circular	22,600	30 T	256978	4655744	37,5	1,8	1,8	0,07	20	22,5	1700
22	P. Superior Mixto	22,950	30 T	256639	4655794	59,5	-	7,0	0,12	27,5	77,5	2050
23	P. Superior Mixto	24,250	30 T	255341	4655746	59,5	-	7,1	0,12	25	27,5	2300
24	Drenaje circular	24,300	30 T	255304	4655703	37,5	1,8	1,8	0,07	15	32,5	2000
25	Drenaje circular	24,750	30 T	254879	4655617	42,5	1,8	1,8	0,06	20	27,5	1700

AUTOVÍA A-52			LOCALIZACIÓN			DIMENSIONES				ENTORNO		
N	TIPO DE PASO	pk	Huso	UTM _E	UTM _N	long (m)	Alt. (m)	Anch (m)	I.A.	d _{setos} (m)	d _{forestal} (m)	d _{urb} (m)
26	Drenaje circular	25,150	30 T	254482	4655541	47,5	1,8	1,8	0,05	17,5	20	1500
27	P. Inferior Mixto	25,950	30 T	253364	4655489	37,0	3,4	5,0	0,46	30	30	750
28	P. Inferior Específico	27,450	30 T	252334	4655360	30,0	4,0	19,7	2,63	11	12	1500
29	P. Inferior Mixto	28,050	30 T	251563	4655071	55,0	1,8	1,8	0,06	12,5	12,5	600
30	Drenaje circular	34,350	29 T	742426	4655009	50,0	1,8	1,8	0,05	8	11	1000
31	P. Superior Mixto	34,950	29 T	741815	4655052	62,4	-	7,0	0,11	2	3	800
32	Drenaje circular	35,000	29 T	741778	4655090	40,0	1,8	1,8	0,06	3	115	850
33	P. Inferior Específico	37,550	29 T	739176	4655026	32,5	7,0	19,0	4,09	20	25	1000
34	P. Superior Mixto	38,100	29 T	738717	4654932	62,4	-	7,0	0,11	7,5	9,5	600
35	P. Inferior Mixto	38,800	29 T	737988	4654981	40,0	4,0	4,0	0,40	11,5	157,5	400
36	P. Superior Mixto	38,950	29 T	737838	4654975	62,4	-	7,1	0,11	7,5	104	500
37	Drenaje circular	39,650	29 T	737157	4654892	50,0	1,8	1,8	0,05	32,5	57,5	1300
38	P. Inferior Específico	39,950	29 T	736871	4654780	30,0	5,0	19,0	3,17	17,5	22,5	1500
39	Drenaje circular	40,450	29 T	736425	4654543	62,5	1,8	1,8	0,04	17,5	25	700
40	Drenaje circular	40,950	29 T	735943	4654552	45,0	1,8	1,8	0,06	20	40	450
41	P. Superior Mixto	41,350	29 T	735520	4654606	62,4	-	7,0	0,11	50	550	50
42	Drenaje circular	41,800	29 T	735081	4654560	61,0	1,8	1,8	0,04	10	300	100
43	P. Superior Mixto	42,750	29 T	734117	4654513	63,8	-	7,1	0,11	0	0	800
44	P. Inferior Mixto	42,950	29 T	733942	4654533	43,0	4,0	4,0	0,37	47,5	320	1000
45	Drenaje circular	43,600	29 T	733305	4654459	62,5	1,8	1,8	0,04	46	59	1500
46	Drenaje circular	44,100	29 T	732808	4654508	55,0	1,8	1,8	0,05	17,5	45	2000
47	P. Inferior Específico	44,300	29 T	732671	4654537	32,0	5,5	20,0	3,44	12,5	45	2300
48	P. Inferior Mixto	51,750	29 T	725409	4654563	32,0	4,0	4,0	0,50	60	290	1500
49	P. Superior Específico	59,400	29 T	717818	4655846	60,0	-	20,0	0,33	4	10	1200
50	Drenaje circular	59,450	29 T	717772	4655828	40,0	1,8	1,8	0,06	5,5	29,5	1250
51	P. Inferior Mixto	60,000	29 T	716987	4655800	32,0	6,0	9,0	1,69	20	65	1200

AUTOVÍA A-52		LOCALIZACIÓN				DIMENSIONES				ENTORNO		
N	TIPO DE PASO	pk	Huso	UTM _E	UTM _N	long (m)	Alt. (m)	Anch (m)	I.A.	d _{setos} (m)	d _{forestal} (m)	d _{urb} (m)
52	P. Superior Mixto	60,600	29 T	716405	4655822	65,0	-	7,7	0,12	12,5	20	1500
53	Drenaje adecuado	60,800	29 T	716190	4655779	36,6	1,7	2,0	0,09	10	200	1700
54	Drenaje circular	61,150	29 T	715848	4655800	37,5	1,8	1,8	0,07	7,5	37,5	2000
55	P. Inferior Mixto	61,600	29 T	715392	4655894	66,0	5,0	7,0	0,53	10	32,5	1300
56	Drenaje circular	61,650	29 T	715345	4655907	42,5	1,8	1,8	0,06	50	65	1350
57	P. Inferior Mixto	61,850	29 T	715168	4656033	36,0	4,0	4,0	0,44	5	140	1100
58	Drenaje adecuado	63,000	29 T	714106	4656414	49,5	2,0	2,0	0,08	3,5	22,5	500
59	Drenaje adecuado	63,050	29 T	714044	4656427	49,5	2,0	2,0	0,08	9	10	550
60	P. Superior Mixto	63,300	29 T	713827	4656516	58,0	-	7,1	0,12	10	110	750
61	P.Superior Específico	63,850	29 T	713276	4656732	60,0	-	20,0	0,33	6	16	1200
62	Drenaje adecuado	65,000	29 T	712123	4657208	150	2,0	4,0	0,05	5,5	12,5	700
63	P. Inferior Específico	65,200	29 T	712056	4657204	96,0	8,0	14,0	0,58	4	27,5	1000
64	P. Superior Mixto	65,700	29 T	711569	4657384	58,0	-	7,1	0,12	7,5	30	1100
65	Drenaje circular	65,900	29 T	711397	4657379	37,5	1,8	1,8	0,07	10	65	1200
66	Drenaje adecuado	66,100	29 T	711221	4657394	37,1	2,4	3,0	0,19	25	30	700
67	Drenaje circular	66,450	29 T	710860	4657447	37,5	1,8	1,8	0,07	7,5	10	350
68	Drenaje circular	66,750	29 T	710548	4657493	37,5	1,8	1,8	0,07	10	250	600
69	Drenaje circular	67,150	29 T	710116	4657647	58,0	1,8	1,8	0,04	7,5	220	400
70	P. Superior Mixto	67,200	29 T	710116	4657647	58,0	-	7,1	0,12	7,5	210	450
71	Drenaje circular	67,400	29 T	709957	4657725	35,0	1,8	1,8	0,07	10	250	250
72	Drenaje circular	67,650	29 T	709692	4657810	35,0	1,8	1,8	0,07	17,5	85	450
73	Drenaje adecuado	68,000	29 T	709493	4657978	47,5	2,0	2,0	0,08	15	15	500
74	P. Inferior Mixto	68,050	29 T	709289	4657878	34,8	5,0	7,0	1,01	7,5	7,5	550
75	Drenaje adecuado	68,400	29 T	708922	4657910	45,2	2,0	2,0	0,09	10	110	1000
76	Drenaje adecuado	68,850	29 T	708500	4657928	38,7	2,0	2,0	0,10	20	40	1500
77	P. Superior Mixto	69,000	29 T	708371	4657913	58,0	-	7,1	0,12	11	20	1200

AUTOVÍA A-52			LOCALIZACIÓN			DIMENSIONES				ENTORNO		
N	TIPO DE PASO	pk	Huso	UTM _E	UTM _N	long (m)	Alt. (m)	Anch (m)	I.A.	d _{setos} (m)	d _{forestal} (m)	d _{urb} (m)
78	Drenaje adecuado	69,400	29 T	707950	4658007	37,4	2,0	2,0	0,11	20	35	800
79	P. Inferior Mixto	69,400	29 T	707950	4658007	33,9	3,4	7,0	0,70	12,5	35	800
80	P. Superior Mixto	70,000	29 T	707353	4658083	58,0	-	7,0	0,12	7,5	19	1500
81	Drenaje circular	70,100	29 T	707226	4658119	35,0	1,8	1,8	0,07	25	35	1600
82	P. Superior Mixto	71,450	29 T	705927	4658127	60,9	-	7,1	0,12	10	17,5	1700
83	P. Inferior Mixto	72,000	29 T	705365	4658237	36,0	5,0	7,0	0,97	12,5	60	1500
84	P. Superior Mixto	73,000	29 T	704412	4658383	58,0	-	7,0	0,12	13	45	800
85	Drenaje circular	73,150	29 T	704233	4658418	36,0	1,8	1,8	0,07	7,5	140	900
86	Drenaje circular	73,350	29 T	704039	4658493	37,5	1,8	1,8	0,07	7,5	500	1000
87	Drenaje circular	73,600	29 T	703778	4658561	37,5	1,8	1,8	0,07	3	35	1250
88	P. Inferior Mixto	73,850	29 T	703618	4658656	43,2	5,0	7,0	0,81	2,5	27,5	1500
89	Drenaje circular	73,900	29 T	703549	4658608	52,5	1,8	1,8	0,05	10	70	1550
90	P. Superior Mixto	74,250	29 T	703177	4658705	58,0	-	7,1	0,12	1	20	1000
91	Drenaje circular	75,650	29 T	701824	4659031	40,0	1,8	1,8	0,06	7	17,5	850
92	Drenaje circular	76,950	29 T	700570	4658915	35,0	1,8	1,8	0,07	3,5	12,5	300
93	P. Superior Mixto	77,100	29 T	700416	4658934	58,0	-	7,1	0,12	6,5	17,5	450
94	Drenaje circular	78,000	29 T	699499	4658918	50,0	1,8	1,8	0,05	7,5	27,5	800
95	P. Inferior Mixto	78,300	29 T	699199	4658935	38,4	6,0	7,0	1,09	5	15	500
96	P. Inferior Mixto	83,800	29 T	694063	4659533	36,0	2,0	2,0	0,11	17,5	35	550
97	Drenaje adecuado	84,750	29 T	693134	4659166	37,0	2,4	4,0	0,26	7,5	290	800
98	P. Inferior Mixto	85,250	29 T	692637	4658926	72,0	5,0	7,0	0,49	3,5	75	700
99	Drenaje circular	85,900	29 T	692066	4658602	35,0	1,8	1,8	0,07	15	100	800
100	Drenaje circular	86,100	29 T	691931	4658506	42,5	1,8	1,8	0,06	10	105	900
101	Drenaje adecuado	86,800	29 T	691356	4658126	42,5	2,0	2,0	0,09	62,5	160	1200
102	Drenaje adecuado	88,450	29 T	689980	4657195	36,0	2,0	4,0	0,22	3	27,5	1000
103	P. Superior Mixto	88,600	29 T	689838	4657142	58,0	-	7,1	0,12	80	375	800

AUTOVÍA A-52		LOCALIZACIÓN				DIMENSIONES				ENTORNO		
N	TIPO DE PASO	pk	Huso	UTM _E	UTM _N	long (m)	Alt. (m)	Anch (m)	I.A.	d _{setos} (m)	d _{forestal} (m)	d _{urb} (m)
104	Drenaje adecuado	89,050	29 T	689492	4657035	39,6	2,4	2,0	0,12	57,5	90	700
105	P. Inferior Mixto	89,200	29 T	689296	4656990	45,6	5,0	7,0	0,77	25	35	650
106	P. Superior Mixto	90,300	29 T	688280	4656572	58,0	-	7,1	0,12	3,5	17,5	600
107	Drenaje circular	90,400	29 T	688184	4656462	40,0	1,8	1,8	0,06	3,5	15	700
108	Drenaje adecuado	90,500	29 T	688117	4656419	36,8	2,4	2,0	0,13	1,5	12,5	500
109	P. Superior Mixto	91,150	29 T	687479	4656205	63,8	-	7,1	0,11	7,5	12,5	500
110	Drenaje adecuado	177,500	29 T	618916	4651513	44,0	1,7	1,7	0,07	2	8	2500
111	P. Superior Específico	178,500	29 T	617922	4652096	62,0	-	14,7	0,24	10	16	2000
112	P. Superior Específico	191,150	29T	607590	4658177	62,0	-	14,7	0,24	8	12	1000
113	P. Inferior Específico	216,300	29 T	594302	4677206	31,0	6,0	17,7	3,43	4	15	50

Tabla IIb. Principales características de las estructuras controladas en la autovía A-231. Cabe señalar que los resultados derivados del control de los pasos superiores mixtos no han sido incluidos en el modelo predictivo desarrollado en el capítulo 8.

AUTOVÍA A-231			LOCALIZACIÓN			DIMENSIONES				ENTORNO		
N	TIPO DE PASO	pk	Huso	UTM _E	UTM _N	long (m)	Alt. (m)	Anch (m)	I.A.	d _{setos} (m)	d _{forestal} (m)	d _{urb} (m)
1	Drenaje circular	32,500	30T	316044	4699022	38,4	1,8	1,8	0,07	0	1000	1250
2	Drenaje adecuado de chapa corrugada	34,050	30T	317469	4698455	46,5	1,9	2,0	0,13	400	1400	600
3	D. circular de chapa corrugada	35,850	30T	319251	4698194	55,0	1,0	1,0	0,01	100	125	2000
4	D. circular chp. corr.	38,350	30T	321486	4696966	44,0	1,8	1,8	0,06	225	725	2500
5	Paso Inferior Específico	41,600	30T	324381	4695782	30,0	5,0	14,0	2,33	8	750	750
6	Drenaje adecuado	42,800	30T	325543	4695469	43,2	1,5	2,0	0,07	0	160	2000
7	Drenaje adecuado	44,200	30T	326875	4695148	40,8	1,5	2,0	0,07	450	450	1250
8	Drenaje adecuado chp. corr.	59,250	30T	341134	4692126	57,0	2,2	3,0	0,18	0	760	200
9	D. Adec. chp. corr.	60,400	30T	342312	4692150	56,0	1,9	2,8	0,15	0	26,5	900
10	P. Inferior Específico	60,650	30T	342554	4692158	43,4	5,0	6,0	0,54	3	60	1250
11	D. Adec. chp. corr.	61,000	30T	342934	4692179	51,0	2,4	3,2	0,23	0	105	1500
12	D. Adec. chp. corr.	61,600	30T	343539	4692208	42,8	2,4	3,2	0,28	0	220	750
13	P. Superior Específico	66,500	30T	348297	4691738	48,0	-	16,0	0,33	10	10	1840
14	P. Inferior Mixto	66,850	30T	348605	4691613	62,0	5,0	8,5	0,54	38	37,5	2070
15	D. Adec. chp. corr.	75,000	30T	356602	4690303	46,5	2,1	3,0	0,21	160	480	660
16	D. Adec. chp. corr.	75,800	30T	357378	4690212	39,0	1,6	2,1	0,13	83	225	860
17	Drenaje circular	77,200	30T	358824	4690025	93,0	0,8	0,8	0,01	108	1750	2130
18	Drenaje circular	77,550	30T	359137	4689961	53,0	0,8	0,8	0,01	350	2000	2440
19	D. circular chp. corr.	77,950	30T	359533	4689832	39,0	1,8	1,8	0,07	175	1500	2700
20	Drenaje adecuado	78,550	30T	360073	4689756	56,5	3,0	6	0,32	15	1500	2320
21	D. Adec. chp. corr.	79,200	30T	360776	4689680	40,6	2,2	3,5	0,30	20	800	1915
22	P. Inferior Mixto	79,850	30T	361358	4689695	36,5	3,0	6,0	0,49	10	800	1660

AUTOVÍA A-231		LOCALIZACIÓN				DIMENSIONES				ENTORNO		
N	TIPO DE PASO	pk	Huso	UTM _E	UTM _N	long (m)	Alt. (m)	Anch (m)	I.A.	d _{setos} (m)	d _{forestal} (m)	d _{urb} (m)
23	D. Adec.. chp. corr.	80,225	30T	361796	4689721	41,0	2,2	3,5	0,29	350	750	1570
24	D. Adec.. chp. corr.	80,600	30T	362138	4689764	45,0	2,1	3,0	0,22	450	550	1560
25	D. Adec.. chp. corr.	80,950	30T	362515	4689872	37,5	2,2	3,5	0,32	8	550	1590
26	D. Adec.. chp. corr.	81,050	30T	362629	4689840	36,6	2,2	3,5	0,33	150	650	1670
27	P. Inferior Específico	81,300	30T	362801	4689866	32,0	1,7	45,7	2,43	18	225	1740
28	P. Inferior Mixto	83,500	30T	365049	4690190	33,8	4,8	14,4	2,04	15	500	2715
29	D. Adec.. chp. corr.	83,900	30T	365402	4690106	47,0	2,2	3,5	0,26	105	650	2760
30	D. Adec.. chp. corr.	84,100	30T	365621	4690095	57,6	2,1	3,0	0,17	18	600	2770
31	P. Inferior Mixto	84,250	30T	365816	4690078	31,0	7,0	12,0	2,71	35	540	2590
32	P. Inferior Específico	132,850	30T	412537	4694579	55,8	3,0	6,0	0,32	175	2900	2350
33	P. Inferior Específico	134,150	30T	413803	469488	52,2	3,0	6,0	0,34	28	2150	1167
34	P. Inferior Específico	134,350	30T	414063	4694999	55,8	3,0	6,0	0,32	105	2150	992
35	Drenaje circular	136,350	30T	415795	4694546	43,5	1,8	1,8	0,06	80	2250	920
36	P. Inferior Específico	137,850	30T	417256	4694240	71,2	4,0	7,5	0,33	23	2250	1950
37	P. Inferior Específico	140,450	30T	419727	4693440	72,0	3,0	6,0	0,25	13	500	1000
38	P. Inferior Mixto	142,750	30T	421813	4692593	50,2	4,0	7,5	0,47	15	400	1420
39	P. Inferior Específico	142,750	30T	421852	4692606	31,0	5,0	9,5	1,53	15	400	1420
40	P. Inferior Mixto	143,300	30T	422424	4692570	90,0	4,0	9,0	0,31	20	1050	850

Tabla III. Resumen de los estadísticos obtenidos para cada uno de los modelos ajustados correspondientes a funciones de acumulación de especies en relación con el esfuerzo de muestreo (t =número de días de control). DC: Drenaje Circular; DA: Drenaje Adecuado; PIM: Paso Inferior Mixto; PIE: Paso Inferior Específico; PSM: Paso Superior Mixto; PSE: Paso Superior Específico.

Tipo de paso pk	DC 19,500	PIM 20,200	DC 22,600	PSM 22,950	DC 24,300	DC 24,750	PIM 25,950	PIE 27,450	PIE 37,550	PSM 41,350	DC 41,800
Días de control	21	26	24	20	24	25	26	27	22	17	21
Especies totales	5	8	5	4	7	7	8	8	7	3	5
Modelos de 2 parámetros											
Clench											
R ²	0,914	0,85	0,916	0,847	0,866	0,908	0,945	0,973	0,976	0,852	0,953
N param	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Par.Sig.<0.05	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2
%Par.sign.	100	100	100	100	50	100	100	100	100	100	100
Asíntota	9,128	8,088	7,225	3,999	-146,5	14,32	9,721	8,808	21,56	3,523	6,515
N' (t=100)	8,098	7,949	6,729	3,97	34,81	11,99	9,137	8,372	15,14	3,467	6,203
Exponencial negativa											
R ²	0,925	0,784	0,935	0,761	0,866	0,916	0,932	0,969	0,976	0,895	0,954
N param	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Par.Sig.<0.05	2	2	2	2	0	2	2	2	2	2	2
%Par.sign.	100	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100
Asíntota	6,139	7,152	5,468	3,66	1308	9,192	7,721	7,147	12,67	3,075	5,141
N' (t=100)	6,139	7,152	5,468	3,66	28,84	9,188	7,721	7,147	12,42	3,075	5,141
Exponencial											
R ²	0,884	0,815	0,897	0,753	0,763	0,866	0,949	0,962	0,89	0,729	0,942
N param	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Par.Sig.<0.05	2	2	1	2	2	2	1	1	2	1	1
%Par.sign.	100	100	50	100	100	100	50	50	100	50	50
Asíntota	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
N' (t=100)	8,666	10,95	8,265	5,908	8,529	11,54	11,34	10,71	10,05	5,254	8,192
Potencial											
R ²	0,88	0,872	0,864	0,914	0,868	0,876	0,936	0,936	0,976	0,768	0,918
N param	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Par.Sig.<0.05	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
%Par.sign.	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Asíntota	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
N' (t=100)	15,14	11,12	11,09	5,319	25,31	21,01	14,58	12,85	24,73	5,083	10,57
B-logarítmica											
R ²	0,905	0,874	0,897	0,905	0,866	0,9	0,948	0,963	0,976	0,799	0,942
N param	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Par.Sig.<0.05	2	1	2	1	1	2	2	2	2	1	2
%Par.sign.	100	50	100	50	50	100	100	100	100	50	100
Asíntota	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
N' (t=100)	10,38	9,892	8,556	4,871	36,97	14,73	11,4	10,48	17,24	4,53	8,073

Tabla III (continuación).

Tipo de paso pk	PIE 44,300	PSE 59,400	PSM 60,600	DM 60,800	PIM 61,600	DC 61,650	PIM 61,850	DA 63,000	DA 63,050	PSM 63,300	PSE 63,850
Días de control	17	18	16	17	20	20	21	16	16	20	24
Especies totales	3	6	4	5	6	5	7	6	6	5	3
Modelos de 2 parámetros											
Clench											
R ²	0,829	0,968	0,91	0,929	0,933	0,782	0,961	0,924	0,951	0,858	0,862
N param	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Par.Sig.<0.05	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
%Par.sign.	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Asintota	4,201	13,83	6,09	9,757	6,087	6,663	11,27	6,312	6,797	8,75	-6,83
N' (t=100)	4,021	11,56	5,653	8,52	6,006	6,007	10,21	6,163	6,667	7,548	-25,98
Exponencial negativa											
R ²	0,849	0,969	0,9	0,927	0,878	0,766	0,964	0,924	0,944	0,851	0,847
N param	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Par.Sig.<0.05	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0
%Par.sign.	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
Asintota	3,248	8,702	4,511	6,514	5,454	5,045	8,024	5,286	5,782	6,14	5816
N' (t=100)	3,248	8,698	4,511	6,514	5,454	5,044	8,024	5,286	5,782	6,138	12,25
Exponencial											
R ²	0,809	0,921	0,915	0,899	0,868	0,8	0,941	0,892	0,895	0,837	0,688
N param	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Par.Sig.<0.05	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	2
%Par.sign.	50	100	50	50	100	50	50	50	100	50	100
Asintota	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
N' (t=100)	5,512	10,06	6,597	8,063	8,808	6,1	11,3	9,22	10,23	7,081	3,58
Potencial											
R ²	0,783	0,963	0,937	0,94	0,959	0,857	0,951	0,902	0,921	0,882	0,85
N param	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Par.Sig.<0.05	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
%Par.sign.	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Asintota	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
N' (t=100)	7,248	22,78	11,07	16,5	8,563	9,703	18,15	10,32	10,87	13,55	15,05
B-logarítmica											
R ²	0,809	0,967	0,921	0,932	0,957	0,805	0,958	0,916	0,938	0,866	0,864
N param	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Par.Sig.<0.05	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
%Par.sign.	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Asintota	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
N' (t=100)	5,402	14,37	7,25	10,64	7,571	6,9	12,91	8,225	8,925	9,045	error

Tabla III (continuación).

Tipo de paso pk	DC 19,500	PIM 20,200	DC 22,600	PSM 22,950	DC 24,300	DC 24,750	PIM 25,950	PIE 27,450	PIE 37,550	PSM 41,350	DC 41,800
Días de control	21	26	24	20	24	25	26	27	22	17	21
Especies totales	5	8	5	4	7	7	8	8	7	3	5
Modelo 3 parámetros											
Asintota											
R ²	0,929	0,785	0,937	0,762	0,87	0,924	0,935	0,969	0,977	0,897	0,955
N param	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Par.Sig.<0.05	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3
%Par.sign.	100	100	100	100	33,33	100	100	100	100	100	100
Asintota	5,940	7,176	5,415	3,666	3712	8,634	7,882	7,156	14,82	3,071	5,138
N' (t=100)	5,940	7,176	5,415	3,666	27,65	8,633	7,882	7,156	14,15	3,071	5,138
Chapman-Richards											
R ²	0,961	0,872	0,951	0,914	0,868	0,965		0,97	0,977	0,768	0,955
N param	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Par.Sig.<0.05	3	1	3	1	1	3	3	3	1	0	3
%Par.sign.	100	33,33	100	33,33	33,33	100	.	100	33,33	0	100
Asintota	5,186	129,7	5,198	21,92	3,4·10 ⁵	7,287	no conv.	7,287	71,14	10,61	5,157
N' (t=100)	5,186	11,12	5,198	5,32	25,4	7,287		7,287	23,11	5,062	5,157
Razón											
R ²	0,917	0,85	0,918	0,848	0,882	0,914	0,945	0,974	0,977	0,854	0,953
N param	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Par.Sig.<0.05	2	2	2	2	3	2	2	2	1	2	2
%Par.sign.	66,67	66,67	66,67	66,67	100	66,67	66,67	66,67	33,33	66,67	66,67
Asintota	8,688	8,091	7,078	4,008	-7,761	13,08	9,744	8,714	25,92	3,514	6,44
N' (t=100)	7,822	7,951	6,629	3,978	-17,48	11,32	9,154	8,304	16,65	3,46	6,147
Hill											
R ²	0,88	0,872	0,864	0,914	0,868	0,876	0,936	0,936	0,976	0,768	0,918
N param	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Par.Sig.<0.05	2	3	1	3	1	3	1	3	1	3	3
%Par.sign.	66,67	100	33,33	100	33,33	100	33,33	100	33,33	100	100
Asintota	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
N' (t=100)	15,14	11,12	11,09	5,319	25,31	21,01	14,58	12,85	24,73	5,084	10,57
Modelo 4 parámetros											
Beta-P											
R ²	0,969	no conv.	0,958	no conv.	no conv.	0,876	0,936	0,978	0,977	0,938	0,957
N param	4		4			4	4	4	4	4	4
Par.Sig.<0.05	2		2			4	4	1	0	1	1
%Par.sign.	50		50			100	100	25	0	25	25
Asintota	5,071	supera	5,099	supera	supera	6,3·10 ⁵	1,1·10 ⁵	11,1	24,27	3,017	6,405
N' (t=100)	5,071		5,099			21,03	14,57	8,738	18,08	3,017	5,981
Weibul											
R ²	0,983	no conv.	0,87	0,909	no conv.	0,986	0,818	0,957	0,978	no conv.	0,955
N param	4		4	4		4	4	4	4		4
Par.Sig.<0.05	1		4	4		1	4	4	3		4
%Par.sign.	25		100	100		25	100	100	75		100
Asintota	5,012	supera	21,8	7,55		7,04	8	7,478	9,54		5,182
N' (t=100)	error		error	error		error	error	error	error		error

Tabla III (continuación).

Tipo de paso pk	PIE 44,300	PSE 59,400	PSM 60,600	DM 60,800	PIM 61,600	DC 61,650	PIM 61,850	DM 63,000	DM 63,050	PSM 63,300	PSE 63,850
Días de control	17	18	16	17	20	20	21	16	16	20	24
Especies totales	3	6	4	5	6	5	7	6	6	5	3
Modelo 3 parámetros											
Asintota											
R ²	0,85	0,969	0,918	0,936	0,884	0,864	0,966	0,925	0,944	0,871	0,847
N param	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Par.Sig.<0.05	3	3	3	3	3	1	3	3	3	1	1
%Par.sign.	100	100	100	100	100	33,33	100	100	100	33,33	33,33
Asíntota	3,234	8,827	5,328	7,798	5,507	222,9	8,232	5,31	5,784	11,89	3008
N' (t=100)	3,234	8,823	5,328	7,787	5,507	19,03	8,232	5,31	5,784	11,04	12,09
Chapman-Richards											
R ²	0,864	0,969	0,937	0,94	-	0,857	0,951	0,928	0,946	0,882	0,85
N param	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Par.Sig.<0.05	2	2	1	1	1	1	1	2	3	1	1
%Par.sign.	66,67	66,67	33,33	33,33		33,33	33,33	66,67	100	33,33	33,33
Asíntota	3,116	8,456	2479	2857	no conv.	1545	1742	5,423	5,895	6946	13049
N' (t=100)	3,116	8,454	11,1	16,49		9,637	18,15	5,423	5,895	13,55	15,04
Razón											
R ²	0,829	0,968	0,92	0,936	0,933	0,864	0,962	0,924	0,951	0,872	0,883
N param	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Par.Sig.<0.05	1	2	1	1	2	1	2	2	2	1	2
%Par.sign.	33,33	66,67	33,33	33,33	66,67	33,33	66,67	66,67	66,67	33,33	66,67
Asíntota	4,165	13,99	7,432	12,26	6,106	-540,2	11,67	6,319	6,781	17,39	-2,123
N' (t=100)	3,992	11,65	6,6	9,999	6,022	20,19	10,47	6,169	6,654	11,51	-3,898
Hill											
R ²	0,783	0,963	0,937	0,94	0,959	0,857	0,951	0,902	0,921	0,882	0,85
N param	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Par.Sig.<0.05	3	3	1	1	3	3	3	3	3	1	3
%Par.sign.	100	100	33,33	33,33	100	100	100	100	100	33,33	100
Asíntota	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
N' (t=100)	7,248	22,78	11,07	16,5	8,563	9,703	18,15	10,32	10,87	13,55	15,03
Modelo 4 parámetros											
Beta-P											
R ²	0,879	0,969	no conv.	0,94	no conv.	no conv.	no conv.	no conv.	0,956	no conv.	0,849
N param	4	4		4					4		4
Par.Sig.<0.05	2	2		0					1		1
%Par.sign.	50	50		0					25		25
Asíntota	3,046	8,196	supera	320	supera	supera	supera		7,25	supera	4,4•10 ⁶
N' (t=100)	3,046	8,195		16,29					6,792		13,38
Weibul											
R ²	0,878	0,969	0,936	0,94	no conv.	no conv.	no conv.	0,927	0,947	0,882	0,847
N param	4	4	4	4				4	4	4	4
Par.Sig.<0.05	4	3	4	4				4	4	1	4
%Par.sign.	100	75	100	100				100	100	25	100
Asíntota	3,069	7,243	43,8	47,08	supera	supera	supera	5,472	5,897	27767	22915
N' (t=100)	error	error	error	error				error	error	error	error

Tabla IV. Datos básicos del seguimiento mediante el registro de huellas efectuado en 43 estructuras de la autovía A-52 durante la campaña de primavera (marzo-mayo) de 2001. Se muestra el número total de presencias registradas después de los 10 días de control. DC: Drenaje circular; DA: Drenaje adecuado; PIM: Paso Inferior Mixto; PIE: Paso Inferior Específico; PSM: Paso Superior Mixto; PSE: Paso Superior Específico.

Nomenclatura de las especies/grupos faunísticos registradas:

LAC:	Lacértidos	TUR:	Turón	CAN:	Cánido
OFI:	Ofidios	GAR:	Garduña	LAG:	Lagomorfo
MIC:	Micromamíferos	TEJ:	Tejón	JAB:	Jabalí
RAT:	Ratas	GIN:	Gineta	COR:	Corzo
ERI:	Erizo	GAT:	Gato	CIE:	Ciervo
COM:	Comadreja	ZOR:	Zorro		

Tipo	pk	LAC	OFI	MIC*	RAT	ERI	COM	TUR	GAR	TEJ	GIN	GAT	ZOR	CAN	LAG	JAB	COR	CIE
DC	34,350	-	-	2	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-
DC	35,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	6	-	-	-	-	-
PIE	37,550	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	1	4	-	-	2	-	-
PIM	38,800	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-
PIE	39,950	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	2	1	-	-	-
DC	40,450	-	-	1	-	-	3	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
DC	40,900	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
DC	43,600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
PIE	44,300	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	3	1	4	-	1	2
PIM	51,750	-	-	-	1	-	-	-	-	2	-	-	5	2	-	-	-	-
PSE	59,400	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	4	3	9	4	-	-
PIM	60,000	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	1	9	3	3	-	-	-
PSM	60,600	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	1	1	8	3	-	-
PSE	63,850	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	3	3	-	-
PIE	65,200	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	6	3	1	-	-	-
DC	66,450	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-
DC	66,750	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1	-	-	-	-
DC	67,750	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1	-	-	-	-
PSM	69,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	7	1	-	-	-
PIM	69,400	1	-	-	-	-	-	-	-	7	-	1	10	6	-	-	-	-
DC	75,650	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DC	76,950	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PSM	77,100	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4	1	-	-	-
DC	78,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	1	-	-	-	-
PIM	78,300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	8	3	-	-	-	-
DA	83,800	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	5	6	-	-	-	-
DA	84,750	-	-	-	2	-	-	-	1	-	-	-	7	4	-	-	-	-
PIM	85,250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DC	85,900	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DC	86,100	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-	-
DA	86,800	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	1	2	-	-	-	-	-
DA	88,450	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PSM	88,600	-	-	3	-	1	1	-	-	1	-	2	3	3	-	1	-	1
DA	89,050	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	1	4	-	-	-	-
PIM	89,200	-	-	-	-	-	-	-	-	4	2	1	-	1	-	-	-	-
PSM	90,300	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	7	3	3	1	-	-	-
DC	90,400	-	-	2	-	-	-	-	-	5	-	4	-	2	-	-	-	-
DA	90,500	-	-	1	-	-	-	-	-	7	-	1	2	3	-	-	-	-
PSM	91,150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	9	-	-	-	-
DA	177,500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
PSE	178,500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	4	1	-	2	-	-
PSE	191,150	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3	4	-	-	-	-
PIE	216,300	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	5	1	-	1	1	-
Total		6	1	30	13	1	8	2	2	64	2	43	115	84	32	16	2	3

(*) En micromamíferos se incluyen registros de musarañas, topillos y ratones.

ANU	Anuros	LIR	Lirón careto	GIN	Gineta	PER	Perro
LAC	Lacértidos	ARD	Ardilla	GAT	Gato	LOB	Lobo
OFI	Ofidios	ERI	Erizo	GD	Gato doméstico	LAG	Lagomorfo
MIC	Micromamíferos*	COM	Comadreja	GM	Gato montés	CON	Conejo
RAT	Rata	ARM	Armiño	ZOR	Zorro	LIE	Liebre
RAG	Rata de agua	TEJ	Tejón	CAN	Cánido	CIE	Ciervo

N	Tipo	pk	ANU		LAC		OFI		MIC		RAT		RAG		LIR		ARD		ERI		COM	COM	ARM
			M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	F
1	PIE	2,750	1		-		-		1		-		-		-		-		-		-		
2	PSM	3,000	-	-	-	-	-		8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-
3	PIE	4,000	-	-	1	-	-		1	-	-	-	-	-	-	-	-	5	2	-	-	-	
4	PIM	4,200	-		-		-		1		-		-		-		-		-		-		
5	DC	4,800	-		-		-		2		-		-		-		-		-		-		
6	DC	6,500	-	-	-	-	-		4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	
7	DC	7,300	1		-		-		5		-		-		-		-		-		-		
8	PIM	7,450	-		-		-		1		-		-		-		-		-		-		
9	DC	7,550	-		-		-		10		-		-		-		-		-		-		
10	DA	7,900	3	1	-	-	-		3	2	1	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	
11	DC	8,250	-	-	-	-	-		4	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12	DC	8,750	2		-		-		10		-		-		-		-		-		-		
13	DC	8,900	-		-		-		8		-		-		-		-		-		-		
14	PIM	9,200	-		-		-		3		-		-		-		-		-		-		
15	DC	9,650	-	-	-	-	-		3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16	DC	10,000	-	-	2	-	-		10	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17	PIM	10,050	-	-	-	-	-		5	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	DC	19,550	-	-	3	-	-		1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
19	PIM	20,200	-	-	-	-	-		1	-	-	-	-	-	-	-	-	3	2	-	-	-	
20	PSM	21,000	-		-		1		9		-		-		-		-		-		-		
21	DC	22,600	-	-	1	-	-		10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
22	PSM	22,950	-	-	-	-	-		8	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
23	PSM	24,250	-		-		1		9		-		-		-		-		-		-		
24	DC	24,300	1	-	-	-	-		8	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
25	DC	24,750	-	-	1	-	-		10	1	-	-	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-	
26	DC	25,150	2		1		-		10		-		-		-		-		-		-		
27	PIM	25,950	-	-	-	-	1		1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
28	PIE	27,450	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	
29	PIE	37,550	-	-	1	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
30	PSM	38,100	-	-	-	-	-		3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
31	PIM	38,800	-		-		-		2		-		-	</									

Tabla V.a (continuación).

N	Tipo	pk	ANU		LAC		OFI		MIC		RAT		RAG		LIR		ARD		ERI		COM	COM	ARM
			M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	F
36	DC	40,950	-		2		-		4		-		-		-		-		-		-		-
37	PSM	41,350	-	-	-	-	-		6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	DC	41,800	1	-	-	-	-		5	7	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-
39	PIM	42,950	1	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	DC	43,600	-		1		-		1		-		-		-		-		-		-		-
41	DC	44,100	-	-	2	-	-		3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	PIE	44,300	-	-	1	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	PSE	59,400	-	-	1	-	-		2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	DC	59,450	-	-	2	-	-		9	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	PSM	60,600	-	-	-	-	-		9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	DA	60,800	1		3		1		10		-		-		-		-		-		-		-
47	DC	61,150	-		5		-		7		-		-		-		-		-		1		-
48	PIM	61,600	-	-	-	-	-		10	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
49	DC	61,650	-	-	5	-	-		7	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	PIM	61,850	1	-	-	-	-		3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
51	DA	63,000	5		1		-		3		-		2		-		-		-		2		-
52	DA	63,050	3	1	1	-	3		9	3	-	-	3	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
53	PSM	63,300	-	-	-	-	-		4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
54	PSE	63,850	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
55	DA	65,000	-	-	1	-	-		7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-
56	PIE	65,200	-	-	-	-	-		1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
57	PSM	65,700	-		3		-		8		-		-		-		-		-		-		-
58	DC	65,900	-		6		-		10		-		-		-		-		-		-		-
59	DA	66,100	-		-		-		3		-		-		-		-		-		-		-
60	DC	66,450	-	-	3	2	1		8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	2	-
61	DC	66,750	-	-	3	1	-		3	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	3	-
62	DC	67,150	-		-		-		6		-		-		-		-		-		4		-
63	PSM	67,200	-		1		-		6		-		-		-		-		-		-		-
64	DC	67,650	-		5		-		7		-		-		-		-		-		2		-
65	DA	68,000	-	-	4	-	-		-	1	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
66	PIM	68,050	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
67	DA	68,400	-		-		-		6		1		-		-		-		-		-		-
68	DA	68,850	-		-		1		3		-		-		-		-		-		-		-
69	PSM	69,000	-		1		-		7		-		-		-		-		-		-		-
70	DA	69,400	-	-	-	-	-		2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
71	PIM	69,400	-	-	1	-	-		3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
72	PSM	70,000	-		-		-		2		-		-		-		-		-		-		-
73	DC	70,100	-		1		-		9		1		-		-		-		-		1		-
74	PSM	71,450	1		-		-		4		-		-		-		-		-		-		-
75	PIM	72,000	-		-		-		2		-		-		-		-		-		-		-
76	PSM	73,000	1		-		-		9		-		-		-		-		-		-		-
77	DC	73,150	-		4		-		8		-		-		-		-		-		3		-
78	DC	73,350	-		-		-		8		-		-		-		-		-		-		-
79	DC	73,600	-		-		-		10		-		-		-		-		-		1		-
80	PIM	73,850	3		-		-		3		-		-		-		-		-		-		-
81	DC	73,900	1	1	-	-	-		10	6	-	-	4	3	-	-	-	-	-	-	3	4	-
82	PSM	74,250	-	-	1	-	-		9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total			28	3	73	5	9	0	414	75	16	2	10	9	1	2	1	1	12	6	25	12	0

N	Tipo	pk	TEJ		GIN		GAT	GD	GM	ZOR		CAN	PER	LOB	LAG	CON	LIE	CIE	
			M	F	M	F	M	F	F	M	F	M	F	F	M	F	F	M	F
1	PIE	2,750	-		-		-			4		1			10			-	
2	PSM	3,000	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	6	-	4	-	-
3	PIE	4,000	-	-	-	-	1	1	-	2	1	4	3	-	7	-	2	-	-
4	PIM	4,200	-		-		1			3		4			9			-	
5	DC	4,800	-		-		3			-		-			-			-	
6	DC	6,500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-
7	DC	7,300	-		-		6			2		1			-			-	
8	PIM	7,450	-		-		2			8		7			2			-	
9	DC	7,550	-		-		5			1		-			-			-	
10	DA	7,900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
11	DC	8,250	-	-	-	-	4	3	-	1	-	1	1	-	-	-	-	-	-
12	DC	8,750	-		-		-			-		1			-			-	
13	DC	8,900	-		-		-			2		-			-			-	
14	PIM	9,200	-		-		1			5		7			1			-	
15	DC	9,650	-	-	-	-	1	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
16	DC	10,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	PIM	10,050	-	-	-	-	1	1	-	1	1	1	-	-	2	-	-	-	-
18	DC	19,550	-	-	-	-	-	-	-	1	3	10	1	-	1	-	-	-	-
19	PIM	20,200	-	-	-	-	-	-	-	2	-	4	4	-	8	2	7	-	-
20	PSM	21,000	-		-		-			-		-			8			-	
21	DC	22,600	-	-	1	1	-	-	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-
22	PSM	22,950	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	4	1	3	-	-
23	PSM	24,250	-		-		-			-		-			10			-	
24	DC	24,300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
25	DC	24,750	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
26	DC	25,150	-		-		-			-		1			-			-	
27	PIM	25,950	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-	5	1	-	-	-
28	PIE	27,450	3	1	2	2	-	-	-	1	1	3	3	-	8	9	-	-	-
29	PIE	37,550	-	-	-	-	1	2	-	2	1	1	-	-	-	-	1	-	-
30	PSM	38,100	-	-	-	-	3	4	-	4	-	4	-	-	-	-	-	-	-
31	PIM	38,800	-		-		-			7		6			3			-	
32	PSM	38,950	-		-		1			1		3			8			-	
33	DC	39,650	1	1	-	-	-	1	-	2	1	-	-	-	1	-	-	-	-
34	PIE	39,950	1	1	-	-	3	2	1	4	2	3	1	-	8	4	-	-	-
35	DC	40,450	-		-		-			1									

N	Tipo	pk	TEJ		GIN		GAT	GD	GM	ZOR		CAN	PER	LOB	LAG	CON	LIE	CIE	
			M	F	M	F	M	F	F	M	F	M	F	F	M	F	F	M	F
1	PIE	2,750	-		-		-			4		1			10			-	
2	PSM	3,000	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	6	-	4	-	-
3	PIE	4,000	-	-	-	-	1	1	-	2	1	4	3	-	7	-	2	-	-
4	PIM	4,200	-		-		1			3		4			9			-	
5	DC	4,800	-		-		3			-		-			-			-	
6	DC	6,500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-
7	DC	7,300	-		-		6			2		1			-			-	
8	PIM	7,450	-		-		2			8		7			2			-	
9	DC	7,550	-		-		5			1		-			-			-	
10	DA	7,900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
11	DC	8,250	-	-	-	-	4	3	-	1	-	1	1	-	-	-	-	-	-
12	DC	8,750	-		-		-			-		1			-			-	
13	DC	8,900	-		-		-			2		-			-			-	
14	PIM	9,200	-		-		1			5		7			1			-	
15	DC	9,650	-	-	-	-	1	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
16	DC	10,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	PIM	10,050	-	-	-	-	1	1	-	1	1	1	-	-	2	-	-	-	-
18	DC	19,550	-	-	-	-	-	-	-	1	3	10	1	-	1	-	-	-	-
19	PIM	20,200	-	-	-	-	-	-	-	2	-	4	4	-	8	2	7	-	-
20	PSM	21,000	-		-		-			-		-			8			-	
21	DC	22,600	-	-	1	1	-	-	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-
22	PSM	22,950	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	4	1	3	-	-
23	PSM	24,250	-		-		-			-		-			10			-	
24	DC	24,300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
25	DC	24,750	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
26	DC	25,150	-		-		-			-		1			-			-	
27	PIM	25,950	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-	5	1	-	-	-
28	PIE	27,450	3	1	2	2	-	-	-	1	1	3	3	-	8	9	-	-	-
29	PIE	37,550	-	-	-	-	1	2	-	2	1	1	-	-	-	-	1	-	-
30	PSM	38,100	-	-	-	-	3	4	-	4	-	4	-	-	-	-	-	-	-
31	PIM	38,800	-		-		-			7		6			3			-	
32	PSM	38,950	-		-		1			1		3			8			-	
33	DC	39,650	1	1	-	-	-	1	-	2	1	-	-	-	1	-	-	-	-
34	PIE	39,950	1	1	-	-	3	2	1	4	2	3	1	-	8	4	-	-	-
35	DC	40,450	-		-		-			1		-			-			-	

Tabla V.b (continuación).

N	Tipo	pk	TEJ		GIN		GAT	GD		GM	ZOR		CAN	PER		LOB	LAG		CON		LIE		CIE	
			M	F	M	F		M	F		M	F		M	F		M	F	M	F	M	F	M	F
36	DC	40,950	-		-		2				-		2				1					-		
37	PSM	41,350	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
38	DC	41,800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	PIM	42,950	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2	2	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-
40	DC	43,600	-		-		-				2		1				5					-		
41	DC	44,100	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	PIE	44,300	1	-	-	-	-	-	-	-	4	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	PSE	59,400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	9	1	4	-	-	-	-	-
44	DC	59,450	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	PSM	60,600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-
46	DA	60,800	-		-		-				-		-				-					-		
47	DC	61,150	-		-		-				-		-				-					-		
48	PIM	61,600	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	4	2	-	-	7	-	4	-	-	-	-	-
49	DC	61,650	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	PIM	61,850	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-
51	DA	63,000	-		-		-				-		-				-					-		
52	DA	63,050	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
53	PSM	63,300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	2	-	3	-	-	-	-	-
54	PSE	63,850	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-
55	DA	65,000	4	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
56	PIE	65,200	6	5	-	1	-	-	-	-	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
57	PSM	65,700	-		-		1				-		-				1					-		
58	DC	65,900	1		-		-				4		1				-					-		
59	DA	66,100	-		-		-				5		1				1					-		
60	DC	66,450	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
61	DC	66,750	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
62	DC	67,150	-		-		-				-		-				-					-		
63	PSM	67,200	-		-		-				1		5				7					-		
64	DC	67,650	-		-		-				-		-				-					-		
65	DA	68,000	-	-	-	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
66	PIM	68,050	-	2	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
67	DA	68,400	7		-		-				4		3				-					-		
68	DA	68,850	6		-		1				6		1				-					-		
69	PSM	69,000	-		-		1				3		5				2					-		
70	DA	69,400	-	-	-	-	2	3	-	-	2	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
71	PIM	69,400	5	10	-	-	2	3	-	-	3	2	7	4	-	-	1	-	-	-	3	2	-	-
72	PSM	70,000	-		-		-				4		9				-					-		
73	DC	70,100	-		-		-				-		-				-					-		
74	PSM	71,450	-		-		-				4		1				-					-		
75	PIM	72,000	-		-		-				6		-				3					-		
76	PSM	73,000	-		-		-				-		8				1					-		
77	DC	73,150	-		-		-				-		-				-					-		
78	DC	73,350	-		-		-				1		-				-					-		
79	DC	73,600	-		-		-				2		2				5					-		
80	PIM	73,850	2		-		-				7		4				4					-		
81	DC	73,900	-	-	-	-	-	-	-	-	2		2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
82	PSM	74,250	-	-	-	-	-	-	-	-	3		6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total			40	25	3	4	46	25	1	137	24	142	29	1		158	19	29	7	2				

Tabla VI.a. Datos básicos del seguimiento efectuado en estructuras de la autovía A-52 durante la campaña de invierno (febrero-abril) de 2003, con 10 días de control. Se distingue el sistema empleado (M: marmolina, F: sistema fotográfico). En los 13 primeros pasos se utilizó sólo marmolina, en los 15 siguientes sólo sistemas fotográficos y en los 20 restantes ambos sistemas simultáneamente. DC: Drenaje circular; DA: Drenaje adecuado; PIM: Paso Inferior Mixto; PIE: Paso Inferior Específico; PSM: Paso Superior Mixto; PSE: Paso Superior Específico.

Nomenclatura de las especies/grupos faunísticos registradas:

ANU	Anuros	ARM	Armiño	GAT	Gato	CAN	Cánido	CON	Conejo
MIC	Micromamíferos	GAR	Garduña	GD	Gato doméstico	PER	Perro	LIE	Liebre
RAT	Rata	TEJ	Tejón	GM	Gato montés	LOB	Lobo	JAB	Jabalí
RAG	Rata de agua	GIN	Gineta	ZOR	Zorro	LAG	Lagomorfo	CIE	Ciervo
COM	Comadreja								

N	Tipo	pk	ANU		MIC		RAT		RAG		COM		ARM	GAR		TEJ	
			M	F	M	F	M	F	M	F	M	F		M	F	M	F
1	PSM	21,000	-		5		-		-		-			-		-	
2	PSM	24,250	-		-		-		-		-			-		-	
3	PIM	38,800	-		-		-		-		-			-		-	
4	PSM	38,950	-		10		-		-		-			-		-	
5	DC	39,650	-		10		-		-		-			-		-	
6	DC	40,450	-		9		6		-		2			-		-	
7	DC	40,950	-		9		-		-		-			-		-	
8	DC	43,600	-		1		-		-		-			-		-	
9	DC	65,900	-		6		-		-		4			-		9	
10	DC	67,200	-		10		-		-		-			-		-	
11	DC	67,650	-		8		-		-		5			1		-	
12	PIM	72,000	-		2		-		-		-			-		2	
13	PIM	73,850	-		3		-		-		-			-		1	
14	PSM	42,750		-		-	-		-		-		-	-		-	
15	PIM	42,950		-		1	-		-		-		-	-		-	
16	PSE	59,400		-		-	-		-		-		-	-		2	
17	PIM	60,000		-		1	-		-		-		-	-		4	
18	PSM	60,600		-		-	-		-		-		-	-		-	
19	DC	61,650		-		2	-		2		-		-	-		-	
20	PIM	61,850		-		3	-		5		-		-	-		-	
21	DA	63,050		-		-	-		7		-		-	-		-	
22	PSM	63,300		-		-	-		-		-		-	-		-	
23	PSE	63,850		-		-	-		-		-		-	-		-	
24	DA	65,000		-		-	-		-		-		-	-		2	
25	DA	68,000		-		-	-		-		-		-	-		-	
26	DA	69,400		-		-	-		2		-		-	-		-	
27	PIM	69,400		-		-	-		-		-		-	-		3	
28	DC	73,900		-		6	4		9		-		4	-		-	
29	DC	19,550	-	-	10	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	PIM	20,200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	DC	22,600	-	-	10	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	PSM	22,950	-	-	7	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	DC	24,300	-	-	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	DC	24,750	-	-	1	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	PIM	25,950	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	PIE	27,450	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-
37	PIE	37,550	-	-	6	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4
38	PSM	38,100	1	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	PIE	39,950	-	-	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	PSM	41,350	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	DC	41,800	-	-	10	10	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
42	DC	44,100	-	-	8	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	PIE	44,300	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	PIM	61,600	1	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	3
45	PIE	65,200	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	5
46	DC	66,450	-	-	0	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-
47	DC	66,750	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
48	PIM	68,050	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	2	1	2	3
Total			3	1	157	53	8	5	0	25	16	0	4	3	1	35	27

N	Tipo	pk	GIN		GAT		GD		GM		ZOR		CAN		PER		LOB		LAG		CON		LIE		JAB		CIE	
			M	F	M	F	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M
1	PSM	21,000	-		-						2		4						1				-		-			
2	PSM	24,250	-		-						-		-						-				-		-			
3	PIM	38,800	-		-						-		1						-				-		-			
4	PSM	38,950	-		-						-		1						4				-		-			
5	DC	39,650	-		-						-		-						-				-		-			
6	DC	40,450	-		-						-		-						-				-		-			
7	DC	40,950	-		-						-		-						-				-		-			
8	DC	43,600	-		-						6		-						-				-		-			
9	DC	65,900	-		-						3		-						3				-		-			
10	DC	67,200	-		-						-		-						-				-		-			
11	DC	67,650	-		-						-		-						-				-		-			
12	PIM	72,000	-		-						3		2						8				-		-			
13	PIM	73,850	-		-						6		4						8				-		-			
14	PSM	42,750		-			-				-			3	-				-		-		-		-			-
15	PIM	42,950		-			-				-		-	-	-				-		-		-		-			-
16	PSE	59,400		-			-				7			3	-					3		1		-				2
17	PIM	60,000		-			-				1			1	-				-		3		-		-			-
18	PSM	60,600		-			-				-			1	-				-		1		-		-			-
19	DC	61,650		-			-				-		-	-	-				-		-		-		-			-
20	PIM	61,850		-			-				-		-	-	-				-		-		-		-			-
21	DA	63,050		-			-				-		-	-	-				-		-		-		-			-
22	PSM	63,300		-			-				-		-	-	-				-		1		-		-			-
23	PSE	63,850		-			-				3			1	4				-		3		-		-			3
24	DA	65,000		-			-				-		-	-	-				-		-		-		-			-
25	DA	68,000		-			-				-		-	-	-				-		-		-		-			-
26	DA	69,400		-			-				-		-	-	-				-		-		-		-			-
27	PIM	69,400		-			3				3			2	-				-		-		-		-			-
28	DC	73,900		-			-				-		-	-	-				-		-		-		-			-
29	DC	19,550	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-				-	-	-		-	-	-	-	-	-
30	PIM	20,200	-	1	1		1	-			1	-	5	-	-				1	-	-		-	-	-	-	-	-
31	DC	22,600	1	1	-	-	-	-			1	-	1	-	-				1	-		1	-	-	-	-	-	-
32	PSM	22,950	-	-	-	-	-	-			-	-	1	-	-				4	-		1	-	-	-	-	-	-
33	DC	24,300	-	-	-	-	-	-			5	2	3	-	-				-	-	-		-	-	-	-	-	-
34	DC	24,750	1	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-				-	-	-		-	-	-	-	-	-
35	PIM	25,950	-	-	-	-	-	-			5	1	4		1	-			4	-		4	-	-	-	-	-	-
36	PIE	27,450	4	1	-	-	-	-			5	3	7		3	-			-		1	-	1	-	-	-	-	-
37	PIE	37,550	-	-	1	-	-	-			1	-	3		1	-			3	-		-	-	-	-	-	-	-
38	PSM	38,100	-	-	2		1	-			-	-	5	-			1		3	-		2	-	-	-	-	-	-
39	PIE	39,950	-	-	-	-	-	-			1	-	2		1	-			-	-	-		1	-	-	-	-	-
40	PSM	41,350	-	-	4		6	-			3	-	6		1	-			2	-		1	-	-	-	-	-	-
41	DC	41,800	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-				-	-	-		-	-	-	-	-	-
42	DC	44,100	-	-	1		1	-			-	-	-	-	-				-	-	-		-	-	-	-	-	-
43	PIE	44,300	-	-	-	-	-	-			4	5	1		1	-			-	-	-		-	-	-	-	-	-
44	PIM	61,600	-	-	-	-	-	-			1	-	5	-	-				-	-	-		-	-	-	-	-	-
45	PIE	65,200	-	-	-	-	-	-			1	2	1		1	-			-	-	-		-	-	-	-	-	-
46	DC	66,450	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-				-	-	-		-	-	-	-	-	-
47	DC	66,750	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-				-	-	-		-	-	-	-	-	-
48	PIM	68,050	-	-	-	-	-	-			4	4	-	-	-				5	-		4	-	-	-	-	-	-
Total			6	3	9	12	0	52	31		56	20	5	47	4	22	2	0	0	5								

Tabla VII.a. Datos básicos del seguimiento mediante el registro de huellas efectuado en 26 estructuras de la autovía A-231 durante la campaña desarrollada entre los meses de agosto y octubre de 2003. Se muestra el número total de presencias registradas después de los 10 días de control. DC: Drenaje circular; DCch: Drenaje circular de chapa corrugada; DAch: Drenaje adecuado de chapa corrugada; PIM: Paso Inferior Mixto; PIE: Paso Inferior Específico; PSE: Paso Superior Específico.

Nomenclatura de las especies/grupos faunísticos registradas:

ANU	Anuros	RAT	Rata	TUR	Turón
URO	Urodelos	RAG	Rata de agua	GAT	Gato
LAC	Lacértidos	ARD	Ardilla	ZOR	Zorro
OFI	Ofidios	ERI	Erizo	CAN	Cánido
MIC	Micromamíferos*	COM	Comadreja	LAG	Lagomorfo

v

N	Tipo	pk	ANU	URO	LAC	OFI	MIC	RAT	RAG	ARD	ERI	COM	TUR	GAT	ZOR	CAN	LAG
1	PSE	66,500	-	-	-	-	7	-	-	2	-	-	-	8	-	-	1
2	PIM	66,850	-	-	-	-	8	-	-	3	-	-	-	2	2	3	-
3	DAch	75,000	9	-	-	3	6	4	2	-	1	3	-	1	-	3	-
4	DAch	75,800	2	1	1	-	3	-	-	-	-	4	-	5	1	1	-
5	DC	77,200	2	1	-	-	9	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
6	DC	77,550	8	-	-	-	10	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
7	DCch	77,950	7	1	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	PIM	78,550	3	1	-	-	6	-	-	-	-	-	-	2	1	4	-
9	DAch	79,200	6	-	1	-	5	-	-	-	-	1	1	1	-	2	-
XX	PIM	79,850	5	2	-	-	10	-	-	-	-	-	-	2	-	3	7
11	DAch	80,225	7	1	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	DAch	80,600	5	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-
13	DAch	80,950	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	7	-	1	-
14	DAch	81,050	1	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	7	-	1	-
15	PIE	81,300	8	4	2	1	9	2	1	-	-	-	-	2	2	3	-
16	PIM	83,500	10	2	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	5	2	-
17	DAch	83,900	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	DAch	84,100	2	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	PIM	84,250	5	1	-	-	10	-	-	-	-	-	-	1	1	1	-
20	PIE	132,850	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	PIE	134,150	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-
22	PIE	134,350	-	-	-	-	6	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-
23	PIE	137,850	1	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
24	PIE	140,450	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
25	PIE	142,750	2	-	-	-	8	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-
26	PIM	143,300	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	3	2	3	-
Total			87	14	4	4	168	6	3	5	1	11	1	47	15	30	9

(*) En micromamíferos se incluyen registros de musarañas, topillos y ratones.

Tabla VII.b. Datos básicos del seguimiento mediante el registro de huellas (M) y sistemas fotográficos (F) efectuado en la autovía A-231 durante la campaña desarrollada entre los meses de junio y septiembre de 2004. Se muestra el número total de presencias registradas después de los 10 días de control. En negrita se señalan los pasos considerados en el capítulo 3. DC: Drenaje circular; DCch: Drenaje circular de chapa corrugada; DA: Drenaje adecuado; DAch: Drenaje adecuado de chapa corrugada; PIM: Paso Inferior Mixto; PIE: Paso Inferior Específico; PSE: Paso Superior Específico.

Nomenclatura de las especies/grupos faunísticos registradas:

ANU	Anuros	COM	Comadreja	CAN	Cánido
LAC	Lacértidos	ARM	Armiño	PER	Perro
OFI	Ofidios	TUR	Turón	LOB	Lobo
MIC	Micromamíferos*	GAT	Gato	LAG	Lagomorfo
RAT	Rata	GD	Gato doméstico	CON	Conejo
RAG	Rata de agua	GM	Gato montés	LIE	Liebre
TOP	Topo	ZOR	Zorro	COR	Corzo
ARD	Ardilla				

N	Tipo	pk	ANU		LAC		OFI		MIC		RAT		RAG		TOP		ARD		ERI		COM		COM	ARM
			M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	F	F
1	DC	32,500	1	2	-	-	-	-	9	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2		
2	DAch	34,050	2		1		-	-	3		-		1		-		-	-	-	-	2			
3	DCch	35,850	-		2		-	-	2		-		-		-		-	-	-	-	1			
4	DCch	38,350	-		1		-	-	3		-		1		-		-	-	-	-	6			
5	PIE	41,600	1	1	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	DA	42,800	4	5	1	2	-	-	5	7	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	3	6	-	
7	DA	44,200	-		6		-	-	7		-		-		-		-	-	2		-			
8	DAch	59,250	8		-		-	-	10		-		7		-		-	-	-	-	-			
9	DAch	60,400	8		-		-	-	9		-		8		-		-	-	-	-	1			
10	PIE	60,650	3	-	-	-	1	-	9	2	-	-	9	9	1	1	-	-	-	-	1			
11	DAch	61,000	7	2	-	-	1	-	5	2	4	3	10	10	-	-	-	-	-	-	1	-	1	
12	DAch	61,600	6	3	1	-	2	-	7	7	-	-	9	9	-	-	-	-	-	-	2	3	-	
13	PSE	66,500	-		3		-	-	-		-		-		-		2		-	-	-			
14	PIM	66,850	4		-		-	-	1		1		-		-		-	-	-	-	-			
15	PIE	132,850	3		-		-	-	4		-		-		-		-	-	-	-	-			
16	PIE	134,150	1		-		-	-	6		-		-		-		-	-	-	-	-			
17	PIE	134,350	3		-		-	-	6		-		3		-		-	-	-	-	-			
18	DCch	136,350	-		1		-	-	9		-		-		-		-	-	-	-	3			
19	PIE	137,850	1	1	1	-	-	-	8	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	
20	PIE	140,450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
21	PIM	142,750	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
22	PIE	142,750	-	-	-	-	-	-	9	4	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	
23	PIM	143,300	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	
Total			52	14	17	2	4	0	127	36	5	3	49	29	1	1	2	0	4	2	23	12	1	

(*) En micromamíferos se incluyen registros de musarañas, topillos y ratones.

Tabla VII.b(continuación).

N	Tipo	pk	TUR		GAT	GD	GM	ZOR		CAN	PER	LOB	LAG	CON	LIE		COR	
			M	F	M	F	F	M	F	M	F	F	M	F	F	F	M	F
1	DC	32,500	-		-			-		-			-				-	
2	DAch	34,050	-		4			-		-			-				-	
3	DCch	35,850	-		2			-		-			-				-	
4	DCch	38,350	-		-			-		-			-				-	
5	PIE	41,600	-	-	-	-	-	4	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	DA	42,800	-	-	-	-	-	-	1	1	1	-	1	-	1	-	-	-
7	DA	44,200	-		-			4		1			-				-	
8	DAch	59,250	1		-			-		4			-				-	
9	DAch	60,400	-		-			-		-			-				-	
10	PIE	60,650	1		-			-		-			-				-	
11	DAch	61,000	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	DAch	61,600	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	PSE	66,500	-		1			2		3			-				2	
14	PIM	66,850	-		1			1		4			-				-	
15	PIE	132,850	-		-			-		-			1				-	
16	PIE	134,150	-		-			-		3			-				-	
17	PIE	134,350	-		-			-		1			-				-	
18	DCch	136,350	-		1			7		-			3				-	
19	PIE	137,850	2	1	-	-	-	1	1	-	-	-	2	3	-	-	-	-
20	PIE	140,450	1	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3
21	PIM	142,750	-	-	-	-	-	-	-	4	1	-	-	-	-	-	-	-
22	PIE	142,750	-	-	1	1	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-
23	PIM	143,300	-	-	6	3	-	-	-	8	1	-	-	-	-	-	-	-
	Total		5	1	20	6	0	19	6	30	4	0	7	3	1	5	3	

Tabla VIII. Datos básicos del seguimiento efectuado en 11 estructuras de la autovía A-52 durante la campaña otoñal (octubre-noviembre) de 2001. Se muestra el número total de presencias registradas después de los 10 días de control, distinguiendo en función del sistema empleado (M: marmolina, F: sistema fotográfico). DC: Drenaje circular; DA: Drenaje adecuado; PIM: Paso Inferior Mixto; PIE: Paso Inferior Específico; PSM: Paso Superior Mixto; PSE: Paso Superior Específico.

Nomenclatura de las especies/grupos faunísticos registradas:

ANU:	Anuros	ERI:	Erizo	LAG:	Lagomorfo
LAC:	Lacértidos	GAT:	Gato	CON:	Conejo
OFI:	Ofidios	ZOR:	Zorro	LIE:	Liebre
MIC:	Micromamíferos*	CAN:	Cánido	CIE:	Ciervo
RAT:	Ratas	LOB:	Lobo		

	DC		PSM		DC		PSM		PIM		PIE		PSE		PIM		PSM		DA		PIM		Total		
	34,750		34,950		35,000		38,100		38,800		39,950		59,400		60,000		60,600		60,800		61,600				
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
ANU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	2	-	4	-	
LAC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
OFI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MIC	-	-	-	-	-	-	2	4	-	-	2	1	-	-	-	-	2	3	-	1	1	1	1	7	10
RAT	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	3	-	
ERI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
GAT	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	2	1	
ZOR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5	4	-	1	-	-	-	1	1	-	-	11	6	
CAN	5	2	2		1	2	10	6	6	1	4	-	4	-	9	5	1	1	-	-	9	3	51	20	
LOB ¹	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	1	-	5	
LAG	2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	3	-	7	-	4	-	-	-	-	-	1	-	19	-	
CON ¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	
LIE ¹	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	
CIE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	7	1	1	-	-	-	-	-	-	8	8	

(*) En micromamíferos se incluyen registros de musarañas, topillos y ratones.

(1) Resultados procedentes del sistema fotográfico

Tabla IX. Actividad humana registrada mediante el control de huellas en las estructuras de la autovía A-52. Se indican las presencias totales en los 10 días de control.

PER: Personas; GAN: Ganado; VEH: Vehículos; DC: Drenaje circular; DA: Drenaje adecuado; PIM: Paso Inferior Mixto; PIE: Paso Inferior Específico; PSM: Paso Superior Mixto; PSE: Paso Superior Específico.

N	Tipo	pk	Primavera 2001			Otoño 2001			Verano 2002			Invierno 2003			Total			TOTAL
			PER	GAN	VEH	PER	GAN	VEH	PER	GAN	VEH	PER	GAN	VEH	PER	GAN	VEH	
1	PIE	2,750							1	-	-				1	-	-	1
2	PSM	3,000							2	1	8				2	1	8	11
3	PIE	4,000							-	-	-				-	-	-	-
4	PIM	4,200							6	-	10				6	-	10	16
5	DC	4,800							-	-	-				-	-	-	-
6	DC	6,500							-	-	-				-	-	-	-
7	DC	7,300							-	-	-				-	-	-	-
8	PIM	7,450							3	-	10				3	-	10	13
9	DC	7,550							-	-	-				-	-	-	-
10	DA	7,900							-	-	-				-	-	-	-
11	DC	8,250							-	-	-				-	-	-	-
12	DC	8,750							-	-	-				-	-	-	-
13	DC	8,900							-	-	-				-	-	-	-
14	PIM	9,200							1	-	5				1	-	5	6
15	DC	9,650							-	-	-				-	-	-	-
16	DC	10,000							-	-	-				-	-	-	-
17	PIM	10,050							-	1	8				-	1	8	9
18	DC	19,550							-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	PIM	20,200							5	-	5	16	4	7	21	4	12	37
20	PSM	21,000							6	-	8	9	-	11	15	-	19	34
21	DC	22,600							-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	PSM	22,950							1	-	5	1	-	4	2	-	9	11
23	PSM	24,250							1	-	3	-	-	7	1	-	10	11
24	DC	24,300							-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	DC	24,750							-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	DC	25,150							-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	PIM	25,950							3	-	2	5	-	3	8	-	5	13
28	PIE	27,450							-	-	1	1	4	1	1	4	2	7
29	PIM	28,050										2	6	3	2	6	3	11
30	DC	34,350	-	-	-	-	-	-							-	-	-	-
31	PSM	34,950				3	-	3							3	-	3	6
32	DC	35,000	-	-	-	-	-	-							-	-	-	-
33	PIE	37,550	1	-	-				2	-	-	2	-	-	5	-	-	5
34	PSM	38,100				3	-	4	5	-	4	4	-	15	12	-	23	35
35	PIM	38,800	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	1
36	PSM	38,950							5	-	6	-	-	22	5	-	28	33
37	DC	39,650							-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	PIE	39,950	-	-	-	3	-	-	2	-	1	-	-	-	5	-	1	6
39	DC	40,450	1	-	-				-	-	-	-	-	-	1	-	-	1
40	DC	40,950	-	-	-				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	PSM	41,350							4	-	8	25	2	19	29	2	27	58
42	DC	41,800							-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	PSM	42,750										8	7	7	8	7	7	22
44	PIM	42,950							3	4	1				3	4	1	8
45	DC	43,600	1	-	-				-	-	-	-	-	-	1	-	-	1
46	DC	44,100							-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47	PIE	44,300	-	-	-				1	-	1	-	-	-	1	-	1	2
48	PIM	51,750	-	-	1				-	-	-				-	-	1	1
49	PSE	59,400	1	-	-	2	-	1	1	-	1				4	-	2	6
50	DC	59,450							-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
51	PIM	60,000	1	1	1	5	1	2				-	-	-	6	2	3	11
52	PSM	60,600	2	-	1	-	-	2	1	-	1				3	-	4	7
53	DA	60,800				-	-	-	-	-	-				-	-	-	-
54	DC	61,150							-	-	-				-	-	-	-
55	PIM	61,600				5	-	6	3	1	8	2	-	-	10	1	14	25
56	DC	61,650							1	-	-				1	-	-	1

Tabla IX (continuación).

N	Tipo	pk	Primavera 2001			Otoño 2001			Verano 2002			Invierno 2003			Total			TOTAL
			PER	GAN	VEH	PER	GAN	VEH	PER	GAN	VEH	PER	GAN	VEH	PER	GAN	VEH	
57	PIM	61,850							5	2	2				5	2	2	9
58	DA	63,000							-	-	-				-	-	-	-
59	DA	63,050							-	-	-				-	-	-	-
60	PSM	63,300							3	5	4				3	5	4	12
61	PSE	63,850	-	-	-				5	-	1				5	-	1	6
62	DA	65,000							-	-	-				-	-	-	-
63	PIE	65,200	1	1	-				-	-	-	-	-	-	1	1	-	2
64	PSM	65,700							10	-	7				10	-	7	17
65	DC	65,900							-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
66	DA	66,100							1	-	-				1	-	-	1
67	DC	66,450	-	-	-				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
68	DC	66,750	-	1	-				-	-	-	-	-	-	-	1	-	1
69	DC	67,150							-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70	PSM	67,200							1	1	4				1	1	4	6
71	DC	67,400										-	-	-	-	-	-	-
72	DC	67,650	2	1	-				-	-	-	-	-	-	2	1	-	3
73	DA	68,000							-	-	-				-	-	-	-
74	PIM	68,050							-	-	-	-	1	3	-	1	3	4
75	DA	68,400							2	-	-				2	-	-	2
76	DA	68,850							1	-	-				1	-	-	1
77	PSM	69,000	12	3	2				10	1	8				22	4	10	36
78	DA	69,400							-	-	-				-	-	-	-
79	PIM	69,400	1	2	2				5	-	3	2	5	2	8	7	7	22
80	PSM	70,000							6	1	8				6	1	8	15
81	DC	70,100							-	-	-				-	-	-	-
82	PSM	71,450							1	-	3				1	-	3	4
83	PIM	72,000							-	-	3	2	-	4	2	-	7	9
84	PSM	73,000							10	-	6				10	-	6	16
85	DC	73,150							-	-	-				-	-	-	-
86	DC	73,350							-	-	-				-	-	-	-
87	DC	73,600							-	-	-				-	-	-	-
88	PIM	73,850							4	-	2	-	-	2	4	-	4	8
89	DC	73,900							-	1	-				-	1	-	1
90	PSM	74,250							9	-	6				9	-	6	15
91	DC	75,650	-	-	-										-	-	-	-
92	DC	76,950	5	-	-										5	-	-	5
93	PSM	77,100	6	2	8										6	2	8	16
94	DC	78,000	1	-	-										1	-	-	1
95	PIM	78,300	2	1	2										2	1	2	5
96	DA	83,800	3	4	5										3	4	5	12
97	DA	84,750	2	-	1										2	-	1	3
98	PIM	85,250	-	-	-										-	-	-	-
99	DC	85,900	-	-	-										-	-	-	-
100	DC	86,100	3	-	-										3	-	-	3
101	DA	86,800	-	2	-										-	2	-	2
102	DA	88,450	-	-	-										-	-	-	-
103	PSM	88,600	1	-	-										1	-	-	1
104	DA	89,050	2	-	-										2	-	-	2
105	PIM	89,200	3	-	1										3	-	1	4
106	PSM	90,300	8	-	6										8	-	6	14
107	DC	90,400	-	-	-										-	-	-	-
108	DA	90,500	2	-	-										2	-	-	2
109	PSM	91,150	9	10	4										9	10	4	23
110	DA	177,500	1	-	-										1	-	-	1
111	PSE	178,500	1	-	-										1	-	-	1
112	PSE	191,150	1	-	2										1	-	2	3
113	PIE	216,300	4	-	-										4	-	-	4
TOTAL			77	28	36	21	1	18	131	18	153	79	29	110	308	76	317	701

